

Las masas de agua en la costa de Galicia: junio-octubre *

F. FRAGA, C. MOURIÑO

Instituto de Investigaciones Pesqueras de Vigo. Muelle de Bouzas. Vigo.

y M. MANRÍQUEZ

Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona.

Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3

Palabras clave: Costa de Galicia, masas de agua, Agua Central Norte, Agua Mediterránea, salinidad.

Key words: Galician coast, water masses, North Atlantic Central Water, Mediterranean Water, salinity.

RESUMEN: Se describen los cuerpos de agua de la costa de Galicia (NO de España) desde la superficie hasta una profundidad de 1500 m, durante los meses de verano, de junio a octubre, utilizando los datos de las campañas oceanográficas «Galicia I, II, III y IV».

La vena de Agua Mediterránea (AM) es muy clara en el nivel de 1200 m en la costa oeste, en la que todavía alcanza el 77 % de AM referido al agua tipo que se encuentra en este nivel y fuera del estrecho de Gibraltar. La proporción decrece en la costa norte de Galicia y su distribución es similar a la descrita anteriormente por otros autores.

El Agua Central está localizada entre 75 y 400 m; a niveles inferiores está mezclada con cantidades crecientes de AM. El Agua Central en la costa de Galicia presenta dos cuerpos de agua bien diferenciados. En la costa oeste es Agua Central Nor-Atlántica (ACNA) típica, mientras que en la costa norte es Agua Central muy modificada con una fuerte homogeneización vertical, con valores de salinidad entre 35,56 y 35,58 ‰ y la temperatura entre 11,0° y 11,6°C. Los diagramas T-S más representativos de estos dos cuerpos de agua son los de las estaciones 16-III y 56-III de la figura 8 a. El cuerpo de agua de la costa norte se supone que tiene su origen en el mar Céltico durante el invierno, mientras que el de la costa oeste viene de latitudes inferiores a 40° N. En la figura 3 del texto se propone la circulación probable de estos dos cuerpos de agua entre los que hay una zona limítrofe indicada con punteado.

Las características del agua superficial son variables, puesto que dependen de las condiciones meteorológicas, pero hay un decrecimiento de la temperatura contra la costa debido al Agua Central aflorada, que tiene su máxima intensificación un poco al norte del cabo Finisterre. La circulación superficial también es variable: estos meses es predominantemente del nordeste hacia el sur, bordeando la costa.

SUMMARY: WATER BODIES OFF THE GALICIAN COAST. JUNE-OCTOBER. — On the basis of data provided by the cruises «Galicia I, II, III and IV», water bodies off the Galician coast (Northwest of Spain) from a depth of 1500 m to the surface are described herein in the period from June to October.

The Mediterranean Water vein (MW) is very clear in the western coast at the level of 1200 m. A proportion of 77 % MW is still found at this area, though it decreases at the northern coast of Galicia. Its distribution is similar to the one previously described by other authors.

* Recibido el 15 de junio de 1981.

Central Water is located between 75 m and 400 m. It presents two clearly different bodies: while in the western coast the North Atlantic Central Water (NACW) is found, highly modified Central Water is observed in the northern coast. Its upper part is homogeneous with salinity values between 35,56 and 35,58 ‰ and temperature values between 11,0 and 11,6°C. The most representative T-S diagrams are those corresponding to stations 16-III and 56-III in figure 8. The water off the northern coast is supposed to have its origin in the Celtic Sea, but the water off the western coast of Galicia is thought to come from a latitude inferior than 40° N. A circulation for these two water bodies is proposed as it is shown in figure 5. The very clear boundary between them is indicated by the dotted zone.

The variations of surface water characteristics are due to meteorological conditions. Temperature decreases against the coast as an effect of the upwelling of Central Water. This effect is specially important in the northern zone of Cape Finisterre and can be explained by the intensification of the upwelling in that zone. Surface circulation also varies. In this months it borders the coast predominantly from the northeast to the south.

INTRODUCCIÓN

De las masas de agua que se encuentran contra el talud de la costa gallega, la más ampliamente estudiada es la vena de Agua Mediterránea. Desde que WÜST (1935) describió con detalle la penetración de la lámina de agua mediterránea en el océano Atlántico, ésta ha sido estudiada a lo largo de la costa oeste de la península Ibérica por diversos autores. LACOMBE y TCHERNIA (1960), PARRILLA y J. M. G. MORÓN (1971), MADELAIN (1972), entre otros. El agua mediterránea es fácilmente reconocible en la costa de Galicia por su espectacular máximo de salinidad entre los 1000 a 1200 m e inversión de temperatura.

Menos atención se le ha dado a la masa de Agua Central Nor-Atlántica (ACNA), en parte porque sus características en esta región son poco claras, sobre todo en la costa norte. Sin embargo, desde nuestro punto de vista es la más interesante por ser la que suministra las sales nutrientes a las rías gallegas y es también la masa de agua que alimenta el afloramiento costero dando lugar a una alta producción tanto en el interior de las rías como en la plataforma costera; por este motivo le daremos aquí una atención especial.

MATERIAL

Los datos utilizados corresponden a cuatro campañas realizadas a bordo del B/O «Cornide de Saavedra» en los meses de junio, G-III (1976); agosto, G-II (1975); septiembre, G-I (1974) y octubre, G-IV (1977).

Los datos de temperatura, salinidad y oxígeno de las campañas G-III y G-II y estos mismos datos junto con los de sales nutrientes para las campañas G-I y G-IV se encuentran publicados por FRANCO y col. (1978), FRAGA (1977), MANRÍQUEZ y col. (1976) y MANRÍQUEZ y col. (1978).

Los datos comprenden la zona entre $41^{\circ} 52' N$ a $44^{\circ} 19' N$ y $6^{\circ} 56' O$ a $11^{\circ} O$ (fig. 1). Los números de las estaciones coinciden en G-II y G-III, pero son diferentes para las otras dos campañas. Los niveles muestreados son los estándar hasta los 1500 m en las estaciones profundas. El número de estaciones muestreadas en las campañas G-I y G-IV fue mayor (28 en la primera y 88 en la segunda), pero para la representación de cortes verticales se han seleccionado sólo las indicadas en la figura citada. En la campaña G-I no se ha estudiado la zona nordeste, por lo que en los diagramas T-S de la figura 8 no aparece el agua característica de esta zona para el mes de septiembre.

Las masas de agua

En las figuras 7 a, b, c, d se han representado todas las muestras de agua tomadas sobre un diagrama T-S separadas por campañas y corresponden a los meses de junio, agosto, septiembre y octubre. En todas ellas se observa claramente una distribución en línea recta entre las temperaturas 11° a $13^{\circ}C$ que coincide con

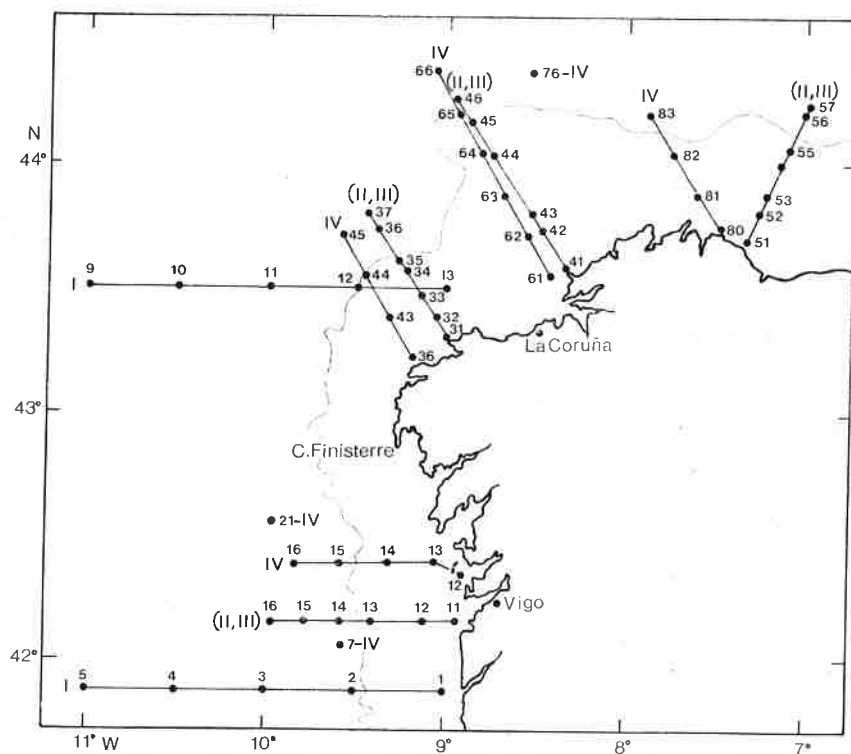


FIG. 1.— Situación de los cortes verticales de salinidad representados en las figuras 17 a 24 y de las estaciones hidrográficas a las que se hace referencia en el texto. Los números romanos se refieren a las campañas: III, junio; II, agosto; I, septiembre, y IV, octubre.

la distribución dada por SVERDRUP y col. (1946) para el Agua Central Nor-Atlántica. Aproximadamente a 11°C hay una distribución hacia salinidad creciente hasta un máximo que llega a alcanzar $36,23\text{‰}$ de salinidad y corresponde al núcleo de Agua Mediterránea. Para temperaturas superiores a 13° , los puntos corresponden a la mezcla de Agua Central con agua superficial y hay una diferencia apreciable de un mes a otro.

El Agua Mediterránea (AM)

Como ya se ha indicado, entre los 1000 y 1200 m se encuentra el núcleo de Agua Mediterránea caracterizado por el máximo de salinidad, que es muy acentuado en la parte sur y se va debilitando hacia el norte y todavía más hacia el nordeste. El valor máximo de salinidad se encontró en la estación 21-IV, con una salinidad de $36,23\text{‰}$, $t = 11,0^{\circ}\text{C}$ a 1160 m, y la salinidad mínima del núcleo se encontró en la estación 56-III, que es de las situadas más al nordeste, con una salinidad de $35,77\text{‰}$, $t = 10,1^{\circ}$ a 990 m. El diagrama T-S de esta estación está representado en la figura 8 a, donde se aprecia la diferencia con el de la estación 16-III, situada tres grados más al oeste y dos grados más al sur.

La vena de AM se extiende hacia el norte, pegada contra el talud continental a consecuencia del efecto de Coriolis; esta distribución puede apreciarse en los cortes verticales de salinidad, siendo muy clara en las figuras 17 a la 20, en las que el núcleo aparece marcado con una línea de puntos; sin embargo, en el corte (1-5) Ia (fig. 17) realizado por el paralelo $41^{\circ} 52' \text{N}$, en el mes de septiembre aparece parte del núcleo separándose hacia el oeste con una estrangulación en $10^{\circ} 30' \text{O}$. MADELAIN (1972), en el mes de junio, también encuentra esta misma estructura en un corte ligeramente más al norte ($42^{\circ} 10' \text{N}$), con una estrangulación en la misma longitud $10^{\circ} 30' \text{O}$. Estructuras muy parecidas a la anterior también las encontraron, un poco más al norte (43°N), TANGUY y LE FLOCH (1976) y FRUCHAUD-LAPARRA (1976); sin embargo, esta distribución no es normal en la costa oeste de Galicia, aunque sí lo es en la costa norte. El núcleo de AM en el corte (1-5) Ia (fig. 17) se presenta con un máximo de salinidad secundario entre los 800 y 900 m que puede ser debido a la formación de los dos núcleos ya en el origen, o como consecuencia de una diferencia de la velocidad de mezcla horizontal por capas. La existencia de estos máximos secundarios ya fue resaltada por MADELAIN (1972).

La estructura de la vena de AM, a pesar de tratarse de agua profunda, no es tan estable como cabía esperar. LE FOCH (1969) encuentra variaciones de corto período en la topografía en el nivel de $\sigma_t = 27,60$ donde está situado el núcleo del AM. En las figura 17 y 19 se presentan dos cortes verticales por los paralelos $41^{\circ} 52' \text{N}$ y $43^{\circ} 30' \text{N}$; los mismos cortes se repitieron 15 días más tarde (figuras 18 y 20), o sea, con un intervalo de una onda quincenal de marea.

Aunque la estructura es similar en ambos pares de cortes, en el primero ($41^{\circ} 52' \text{N}$) se observa que el máximo secundario de salinidad, situado a 800-900 m (fig. 17), ha desaparecido transcurridos 15 días (fig. 18), y tampoco se encuentra una estructura semejante en el corte efectuado 98 millas más al norte

y 19 días más tarde, a pesar de que el AM se desplaza en aquella dirección (LACOMBE, 1961).

Por otra parte, estos mapas están sujetos a un cierto error como consecuencia de las ondas internas. KARTAVTSEFF y BILLANT (1979), haciendo registros continuos al nivel de 960 m, encuentran variaciones semidiurnas de temperatura que en algunas ocasiones llegan hasta cerca de 1°C. Esto supone un desplazamiento vertical muy grande; por lo tanto, si las estaciones no están hechas en la misma fase de la onda, los cortes verticales aparecen deformados y también afecta a los mapas de topografía dinámica que pueden no ser representativos de la corriente residual a este nivel.

Aunque la distribución de salinidad da una buena idea del núcleo de AM, se calculó la proporción de AM utilizando el método del diagrama triangular. La distribución no se ha representado gráficamente por ser bastante parecida a la de salinidad, como era de esperar, con la única diferencia de que el núcleo se encuentra situado a un nivel algo más profundo que el nivel de máxima salinidad.

En la elección de los tipos de agua para la confección del diagrama triangular hay algunas diferencias de criterio entre los diversos autores. Para el AM tipo se pueden utilizar las características de esta agua en el umbral de salida en el estrecho de Gibraltar a 300 m, donde tiene $t = 13,0^{\circ}\text{C}$ y $S \text{ ‰} = 38,10$ ($\sigma_t = 28,826$), o bien sus características después de que ésta se ha hundido en el agua atlántica hasta alcanzar la capa de densidad que le corresponde, aproximadamente a los 1000 m de profundidad ($t = 11,9^{\circ}\text{C}$; $S \text{ ‰} = 36,5$; $\sigma_t = 27,81$). Aquí utilizamos esta última.

El núcleo de AM en el Atlántico se mezcla por su parte superior con el ACNA y por la parte inferior con el Agua del Labrador (AL), caracterizada por un mínimo de salinidad y un máximo de oxígeno. Ésta penetra por la cubeta europea (BYUN, 1980) y se extiende hacia el sur, pudiendo detectarse en la costa de Galicia por un máximo de oxígeno situado hacia los 1900 m. Aunque las características del AL en la cubeta europea son $\theta = 3,4^{\circ}\text{C}$; $S \text{ ‰} = 34,94$, preferimos utilizar su valor en el momento de cruzar la dorsal atlántica, $\theta = 3,4^{\circ}\text{C}$; $S \text{ ‰} = 34,89$, por no estar todavía influenciada por la mezcla con el agua superior.

Como índice para la parte inferior del ACNA se utiliza el mínimo de sali-

CUADRO I

Índices de los tipos de agua utilizados para el cálculo de la proporción de Agua Mediterránea (AM) por el método del diagrama triangular.

	<i>Profundidad</i>	<i>t °C</i>	<i>S ‰</i>	σ_t
Parte inferior del ACNA	410	11,1	35,59	27,254
Agua Mediterránea (AM)	1200	11,9	36,5	27,809
Agua del Labrador (AL)	1800	3,4 *	34,92	27,819

* Temperatura potencial.

nidad encontrado hacia los 400 m, que se calculó por intersección en el diagrama T-S de la recta de ACNA con la recta de mezcla del ACNA y el AM, obtenido con toda la nube de puntos de las figuras 7 a, b, c, d reunidos. El punto de intersección es $t = 11,1^\circ$; $S \text{ ‰} = 35,59$ ($\sigma_t = 27,254$).

En el cuadro I se resumen los valores utilizados como vértices del triángulo sobre el diagrama T-S.

La proporción de un tipo de agua viene dada por la ecuación

$$M_2 = \frac{(t - t_3)(S_1 - S_3) - (S - S_3)(t_1 - t_3)}{(t_2 - t_3)(S_1 - S_3) - (S_2 - S_3)(t_1 - t_3)}$$

donde t y S son la temperatura y salinidad de la muestra en la que se quiere determinar la proporción M_2 de agua de índice t_2 , S_2 , y los valores de t_1 , S_1 y t_3 , S_3 son los índices del agua tipo, superior e inferior, que se están mezclando con la t_2 , S_2 . Sustituyendo en la ecuación anterior los datos del cuadro I se tiene

$$\text{AM ‰} = 119,99 \text{ S ‰} - 10,35 t - 4120,0$$

que es válida dentro del triángulo cuyos vértices son los puntos T-S indicados en el cuadro I. Esta ecuación es la que hemos utilizado para calcular la proporción de AM en la costa de Galicia. De la ecuación se deduce que la proporción

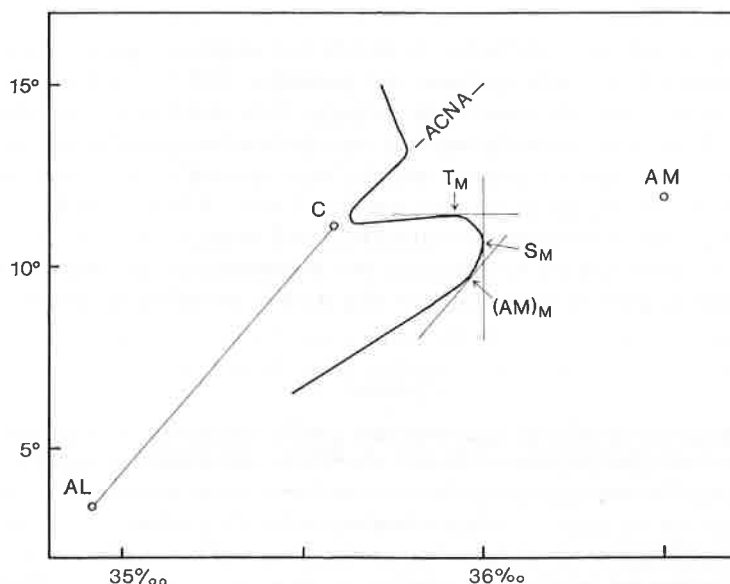


FIG. 2.— Esquema de diagrama T-S para indicar la posición relativa del máximo de temperatura T_M , máximo de salinidad S_M y máximo de Agua Mediterránea $(AM)_M$ en la vena de Agua Mediterránea. La recta tangente a la curva T-S en el punto $(AM)_M$ es paralela a la C-AL. ACNA, Agua Central Nor-Atlántica. C, límite inferior del ACNA. AM, Agua Mediterránea. AL, Agua del Labrador.

de AM no es sólo función de la salinidad, por lo que el máximo de AM no tiene por qué coincidir necesariamente con el máximo de salinidad y de hecho así sucede. En la figura 2 hay una representación esquemática de una curva T-S de mezcla de AM con los tipos C y AL. El máximo de temperatura es el punto de contacto de la tangente paralela al eje de salinidad. El máximo de salinidad viene dado por la tangente paralela al eje de temperaturas y el máximo de AM es el punto de contacto de la tangente paralela a la recta C-AL. Estos tres máximos coinciden en un solo punto para AM % = 100, pero se van separando cada vez más a medida que el núcleo de AM se diluye y, si este núcleo avanza a un nivel constante, el máximo de salinidad se eleva a medida que se va mezclando el núcleo con el agua superior e inferior.

En el cuadro II se da la media de los valores de todas las estaciones en el nivel de máxima salinidad y los mismos valores medios calculados en el nivel de máxima proporción de AM. El número de estaciones utilizado para el cálculo de las medias fue de 45.

En el cuadro II se observa que tanto la diferencia de salinidad como de proporción de AM entre los niveles de máxima salinidad y de máxima proporción de AM, es pequeña. Pero la diferencia de nivel a que se encuentran es apreciable, encontrándose el máximo de salinidad, por término medio, 90 m más arriba del núcleo de AM, dependiendo, como ya se indicó anteriormente, del grado de dilución de AM.

La mayor proporción de AM se encontró, como era de esperar, en la parte sur, en la estación 21-IV, en el mes de octubre, con el 77 % de AM a 1160 m ($S \text{ ‰} = 36,227$, $t = 10,98^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t = 27,772$), y el mínimo en la estación 56-III, situada en el extremo nordeste de la zona estudiada en la campaña de junio, con un valor de 33 % de AM a 1190 m ($S \text{ ‰} = 35,65$, $t = 8,63^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t = 27,726$). El máximo de salinidad en esta misma estación, que es de 35,77 ‰, se encuentra a 990 m, o sea, 200 m menos profundo como consecuencia de la mayor dilución (diagrama T-S, fig. 8 a). No obstante, hay que tener en cuenta que el diagrama está hecho con muestras discontinuas, con intervalos de profundidad demasiado grandes; si se hubiese hecho con registro continuo, es probable que el máximo de salinidad sea más profundo y el de AM menos profundo, reduciéndose la distancia entre ambos.

CUADRO II

Valor medio de la profundidad, salinidad, temperatura, sigma-t y proporción de Agua Mediterránea en los niveles de máxima temperatura, de máxima salinidad y de máxima proporción de Agua Mediterránea (AM) en la costa de Galicia. $n = 45$.

Nivel	Profundidad, m	S ‰	t, °C	σ_t	AM, %
Máximo de temperatura	810	35,981	11,36	27,510	44
Máximo de salinidad	1070	36,073	10,86	27,674	60
Máximo AM	1160	36,052	10,49	27,729	61

Agua Central Nor-Atlántica (ACNA)

Esta masa de agua está inmediatamente encima del AM, situada entre los 500 y 70 m de profundidad, y se caracteriza por un segmento recto en los diagramas T-S, tal como puede apreciarse en las estaciones 16-III, 15-II, 9-I B y 7-IV en las figuras 8 a, b, c, d, todas ellas situadas en la parte más meridional de la zona estudiada. Su límite inferior viene dado por el mínimo de salinidad que se encuentra entre los 500 a 300 m y el límite superior por el máximo de salinidad entre los 70 a 150 m (figs 11, 17, 18 y 21). Por el contrario, en la parte nordeste, o sea, en la costa norte de Galicia, el tramo recto en el diagrama T-S casi desaparece como puede apreciarse en los diagramas de las estaciones 56-III, 35-II y 76-IV, de las figuras 8 a, b, d, y el máximo de salinidad que indicaba el límite superior de la masa de agua se hace muy impreciso, o incluso desaparece, y en la zona de transición incluso puede aparecer un máximo que no tiene nada que ver con el límite superior del Agua Central, como sucede en la figura 10. Algunos autores dan como límite inferior del ACNA la isoterma de 11°C; esto es útil en latitudes más altas donde el mínimo de salinidad es poco marcado y el gradiente de temperatura es algo mayor, pero al sur de Finisterre la temperatura se hace muy uniforme por debajo de los 400 m y la isoterma de 11° comprende un extenso intervalo de agua, como puede verse por la distribución de puntos en la figura 7 y también en el diagrama T-S de la estación 16-III, figura 8 a, donde una temperatura próxima a 11°C se mantiene desde 430 m hasta 1100 m.

Por consiguiente, hay dos zonas bien diferenciadas: una zona A o atlántica (fig. 3) al oeste de Galicia, con ACNA típica, y otra zona G al norte de Galicia, con un tipo de agua muy homogénea, cuyo diagrama más característico es el de

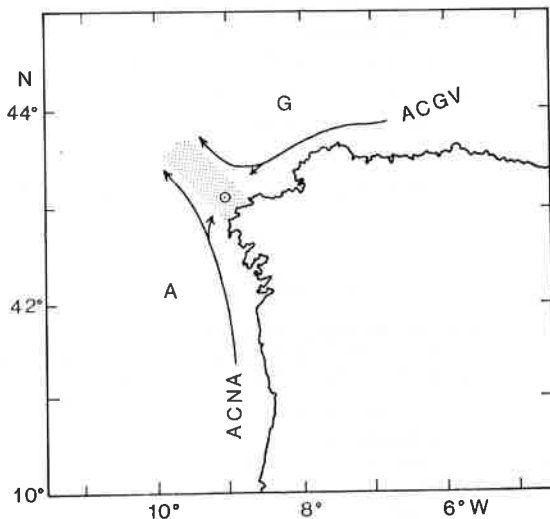


FIG. 3.— Esquema de circulación del Agua Central situada entre los 100 a 400 m de profundidad. La parte punteada es la zona de contacto lateral entre los dos cuerpos de agua. ACGV, Agua Central del golfo de Vizcaya.

la estación 56-III en el mes de junio (fig. 8 a), en la que toda la masa, desde 500 m a 75 m, tiene una salinidad que varía tan sólo entre 35,56 y 35,58 ‰, y el intervalo de temperatura también es pequeño, entre 11,0° y 11,6°C. Este cuerpo de ACNA está tan modificado que incluso justifica que se le considere como una masa diferente. LE CORRE y TREGUER (1976) la designan por G (Agua del Golfo); aquí la designaremos por ACGV (Agua Central del golfo de Vizcaya), para conservar en su nombre su origen de Agua Central. En los meses estudiados, el diagrama T-S presenta la recta correspondiente al ACNA como un segmento corto. Esta estructura es muy probable que sea la que adquirió durante el invierno en su lugar de origen y no por mezcla vertical del ACNA; sin embargo, en la zona limítrofe entre las zonas A y G, sombreada a puntos en la figura 3, hay una mezcla lateral de las dos masas de agua ACNA y ACGV que se manifiesta por la irregularidad de los diagramas T-S en esa zona (fig. 4), en la que se observa, entre 50 y 100 m, un cuerpo de ACGV que penetra sobre el ACNA situada entre los 190 a 380 m. FRUCHAUD-LAPARRA (1976 a) localiza el límite entre estas dos zonas también en el mismo lugar en el mes de mayo, mientras que TAREAU y LE FLOCH (1976) lo sitúan más al noroeste en febrero.

Las ecuaciones de la recta de regresión correspondientes al tramo recto del Agua Central de estos dos cuerpos de agua están dadas en el cuadro III, donde se comparan con las dadas por otros autores.

La diferencia entre las ecuaciones del tramo recto del Agua Central de las dos zonas no es significativa, por lo que el ACGV puede considerarse como ACNA en la que falta la parte superior. El valor de S_{11} encontrado en la zona A es idéntico al dado por GONZÁLEZ y col. (1980), puesto que las muestras corresponden a la misma zona geográfica.

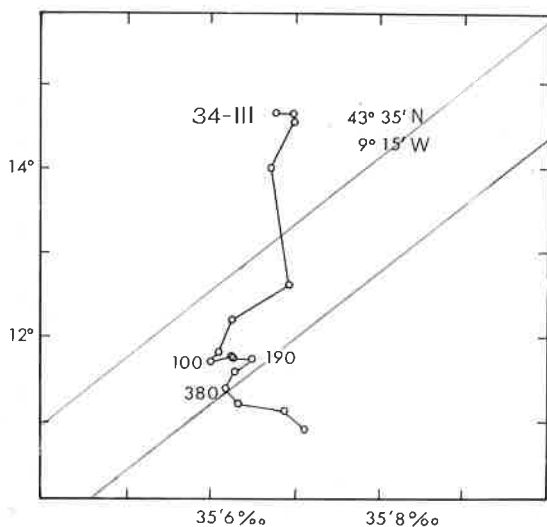


FIG. 4. — Diagrama T-S de una estación situada en la zona punteada de la figura 3. A 100 m penetración del ACGV sobre el ACNA.

CUADRO III

Ecuación de la recta del Agua Central Nor-Atlántica
 $S_{\text{‰}} = S_{11} + B(t - 11)$

	S_{11}	B	r	n
Sverdrup (1946)	$35,5 \pm 0,085$	0,125		
Mamayev (1975)	35,531	0,108		
González (1980)	35,58	0,09		
Esta publicación. Zona G	35,565	0,096 *	0,849	289
Esta publicación. Zona A	35,586	0,106 *	0,918	409

* Ajuste ortogonal de la recta.

La formación del Agua Central del golfo de Vizcaya (ACGV)

En la parte septentrional, durante el invierno, el agua superficial se enfría hasta llegar a sobrepasar la densidad del agua de la capa inferior, produciéndose un hundimiento con mezclado vertical de las capas de agua. A medida que avanza el invierno se hace más extensa en profundidad la capa de mezcla, que alcanza en profundidad gran parte del ACNA(desapareciendo la parte superior del tramo recto en el diagrama T-S, siendo sustituido por una capa de agua uniforme tanto en temperatura como en salinidad, y la parte superior del ACNA que no ha sido modificada tiene, en este momento, la misma densidad que el agua de superficie.

En la figura 5 se han dibujado la isoterma superficial de $11,3^{\circ}\text{C}$ y la isohalina

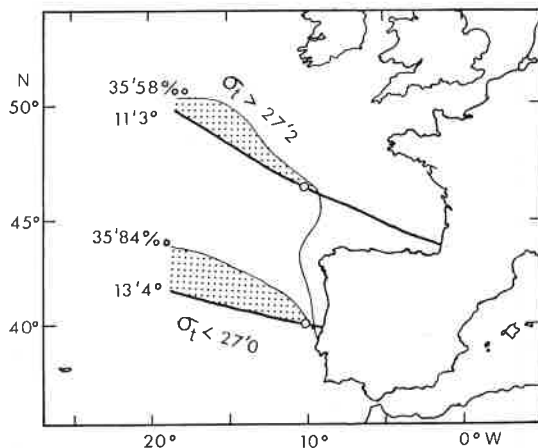


FIG. 5. — Isotermas e isohalinas en febrero-marzo. El ACGV se supone formada, en esta fecha, al norte de la zona punteada correspondiente a σ_t 27,2, y el ACNA que se encuentra en el verano en la costa oeste de Galicia se supone que tiene su procedencia de la zona punteada de σ_t 27,0. La variación estacional del diagrama T-S del agua superficial de los puntos indicados con un círculo, se encuentra en la figura 6. Las isothermas e isohalinas se han interpolado del Atlas del U. S. Naval Oceanographic Office.

superficial de 35,58 ‰ para el mes de marzo, que es cuando se alcanza la temperatura mínima en superficie en esa zona. Los valores de temperatura y salinidad elegidos son los índices de la parte superior del ACGV 200 m, σ_t 27,2, en la estación 56-III. La parte punteada y toda la zona situada al nordeste tiene un sigma-t en superficie superior a 27,2 y puede ser zona de formación de esa agua. TANGUY y LE FLOCH (1976), en los diagramas del mes de enero de las zonas del sur de Irlanda, oeste de Bretaña y norte del golfo de Vizcaya, encuentra una homogeneización de toda la capa superior hasta los 400 ó 500 primeros metros, y toda la nube de puntos cae entre 10°-11°C, con 35,50 ‰ de salinidad. Al mismo tiempo que se produce el enfriamiento, hay también un aporte de agua menos salada desde el norte. El mecanismo ha sido expuesto por COOPER (1949), que des-

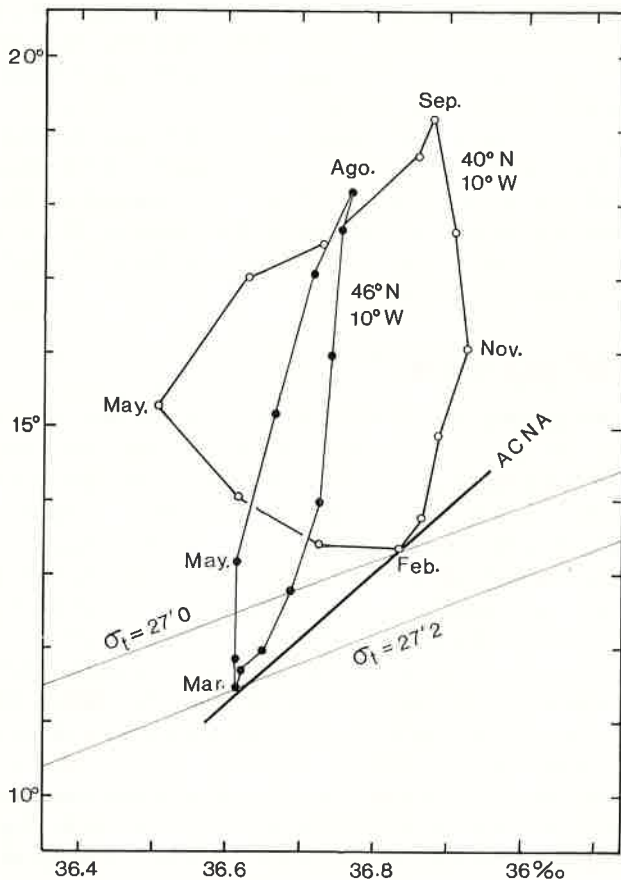


FIG. 6.— Variación estacional de los diagramas T-S del agua superficial de los dos puntos indicados en la figura 5. Toda el ACNA con un sigma-t inferior al del mes más frío, formará una mezcla homogénea. Diagramas construidos con datos del Atlas de U.S. Naval Oceanographic Office.

cribe la formación de este cuerpo de agua en la plataforma del mar Céltico, que comprende desde el sur de Irlanda hasta la Bretaña francesa.

En la zona sur (A de la figura 3), el T-S más representativo es el de la estación 7-IV (fig. 8 d), con el límite superior del ACNA a 70 m ($t = 13,4^{\circ}\text{C}$; $S \text{ ‰} = 35,84$ y $\sigma_t = 27,0$). La isoterma e isohalina superficiales de esas características para el mes de febrero, que es el mes más frío, están situadas hacia los 40° N, como se indica en la figura 5, por lo que el ACNA que se encuentra en verano en la costa de Galicia debe proceder de una latitud de 40° N o más al sur; de lo contrario, tendría que tener el tramo recto del ACNA más corto, o sea, con el máximo de salinidad asociado a una temperatura inferior a $13,4^{\circ}\text{C}$.

Esto supone un desplazamiento del ACNA en dirección norte a lo largo de la costa oeste de Galicia que está de acuerdo con las medidas de SWALLOW y col. (1977) hechas en el mes de enero, que también encuentran una componente hacia el norte a $42^{\circ} 09' \text{ N}$, $9^{\circ} 51' \text{ O}$ de $4,5 \text{ cm/s}$ a 400 m, calculada por topografía dinámica, referida a 1500 m, donde mide experimentalmente la velocidad absoluta. El desplazamiento que hemos encontrado nosotros es de unos 2° de latitud en seis meses, o sea, alrededor de $1,4 \text{ cm/s}$.

La variación estacional de los diagramas T-S del agua de superficie para los puntos de coordenadas 46° N , 10° O y 40° N , 10° O se ha representado en la figura 6, utilizando los datos de la U. S. Naval Oceanographic Office (1967). Las curvas de σ_t que pasan por los índices del mes más frío excluyen la existencia de ACNA por encima de estas curvas por haber formado una mezcla homogénea con el agua superficial.

La circulación del Agua Central

La circulación general del ACNA, en un esquema muy simplificado, es un giro anticiclónico que abarca casi todo el Atlántico Norte, por medio del cual se supone que en la parte oriental el ACNA penetra por la parte norte del golfo de Vizcaya y sale por la parte sur, bordeando la costa de Galicia y dirigiéndose hacia el sur. Sin embargo, dentro de este gran esquema general a macroescala, existen otros a mediana escala que se apartan del sistema de circulación sencillo, como lo demuestran los mapas de topografía dinámica presentados por FRUCHAUD-LAPARRA (1976 a y b) y MADELAIN y FRUCHAUD-LAPARRA (1976).

Si volvemos al sistema de circulación general en el que se supone un transporte de agua en dirección este-oeste en el norte de Galicia hasta Finisterre y que luego gira hacia el sur, nos encontramos con algunos datos experimentales que no tienen explicación.

El agua de la zona G de la figura 3, caracterizada por una gran uniformidad, no puede aparecer después en A con el segmento recto en el diagrama T-S que corresponde al agua encontrada en esta zona; más bien pudiera ser al contrario, que el agua de A se desplazara a la zona G sufriendo un intenso mezclado vertical, pero esto tampoco es admisible, por dos razones: una, la integral de salinidad desde 75 m hasta el nivel de 400 m es distinta; $35,57 \text{ g/kg}$ para el ACGV en la estación 56-III y $35,68 \text{ g/kg}$ para el ACNA en la estación 16-III. Por otra

parte, el mínimo de salinidad en G es siempre más acentuado que en la zona A, como puede apreciarse en los diagramas T-S de las figuras 8 a, c, d. En definitiva, entre los niveles de 500 a 100 m no existe transporte de agua de la zona G a la A y viceversa.

Si se tiene en cuenta que el ACGV de la costa norte de Galicia se mueve en dirección oeste y el ACNA de la costa oeste se mueve en dirección norte, parece que la circulación más probable del conjunto entre los 400 a 100 m es la indicada por las flechas en la figura 3. Ésta trae como consecuencia un hundimiento de la parte inferior del Agua Central contra la costa y una elevación de la parte superior del mismo cuerpo de agua, lo que puede explicar el intenso afloramiento localizado ligeramente al norte del cabo Finisterre, que, al contrario del afloramiento costero, se prolonga mar afuera. Sin embargo, hay que resaltar que la elevación de las isohalinas de 35,6 en la figura 10 y las de 35,65 en las figuras 14 y 22 no se pueden atribuir a una elevación del Agua Central, sino a una penetración lateral de ACGV en el ACNA.

La circulación indicada anteriormente está de acuerdo con la topografía dinámica para 600 m dada por TANGUY y LE FLOCH (1976); a pesar de que el ACNA a este nivel ya tiene una proporción bastante grande de AM, se parece bastante a la circulación indicada. Nuestro esquema de circulación encaja dentro del esquema general de ISELIN (1936), con la diferencia de que este autor sitúa el encuentro de las dos ramas de Agua Central mucho más al sur, a 40° lat. N.

El Agua Superficial

El agua superficial de la costa de Galicia, como la de cualquier área, es muy variable y está influenciada por las variaciones meteorológicas inmediatas y por el aporte de agua dulce de los ríos, que lo hacen generalmente por intermedio de las rías, cuya influencia se hace sentir más en la costa oeste. No obstante, en el agua superficial hay unas características que vienen definidas por la circulación de ésta, sobre la que ejerce también influencia la circulación del Agua Central. El agua superficial, aunque hay variaciones interanuales bastante importantes, en los meses de verano circula a lo largo de la costa desde el nordeste hacia el sur. En la costa norte, la circulación del ACGV es en la misma dirección que la de la capa superficial y los diagramas T-S de ésta forman una recta vertical (fig. 8), con una salinidad uniforme de arriba abajo y con un fuerte gradiente térmico que parece como si la parte superior de ACGV se hubiese ido calentando a lo largo de su recorrido. Este cuerpo de agua cálida y de baja salinidad aparece interrumpido frente a Punta Roncudo, situada un poco más al norte de cabo Finisterre, a consecuencia de la intensificación del afloramiento costero en esta zona (FRAGA, 1981), en donde la temperatura desciende considerablemente (13,02°C en la estación 31-II en el mes de agosto), mientras que al nordeste es de 21,85°C en la estación 53-II y al sur es de 19,20°C en la estación 14-II, ambas también en la misma fecha. Al final del verano, con el debilitamiento del afloramiento, el agua superficial se va uniformizando, pero las lluvias intensas de otoño producen un descenso de salinidad en el agua litoral, siendo más acusado en las

rías bajas. En la figura 21 se ve claramente este aporte de agua dulce frente a la ría de Pontevedra en el mes de octubre. La distribución de salinidad superficial para esta fecha ya ha sido publicada por FRAGA (1978).

Posibles consecuencias biológicas

Las diferencias entre el agua subsuperficial de la costa norte y de la costa oeste, así como su origen diferente por una parte y el diferente sistema de circulación por otra, crean condiciones ambientales diferentes que pueden repercutir en la distribución de las especies biológicas, en especial en las planctónicas.

En la zona A de la figura 3, la circulación del agua subsuperficial, formada por ACNA entre los 75 y 400 m, circula en dirección contraria al agua superficial, con lo cual refuerza el afloramiento por aumentar la velocidad relativa del agua superficial, pero además este sistema de circulación favorece la acumulación de nutrientes y hace esperar una mayor producción primaria, y así, en efecto, se ha encontrado en la campaña G-IV en esta zona una concentración de clorofila 2,5 veces mayor que en la zona G, según datos de ESTRADA (FRAGA, ESTRADA y MOURIÑO, 1978). Este sistema de circulación también influye en las poblaciones planctónicas de fuerte emigración vertical diurna, que son transportadas hacia el sur por el agua superficial durante la noche y retornan de nuevo a la misma posición arrastradas por el ACNA hacia el norte durante el día.

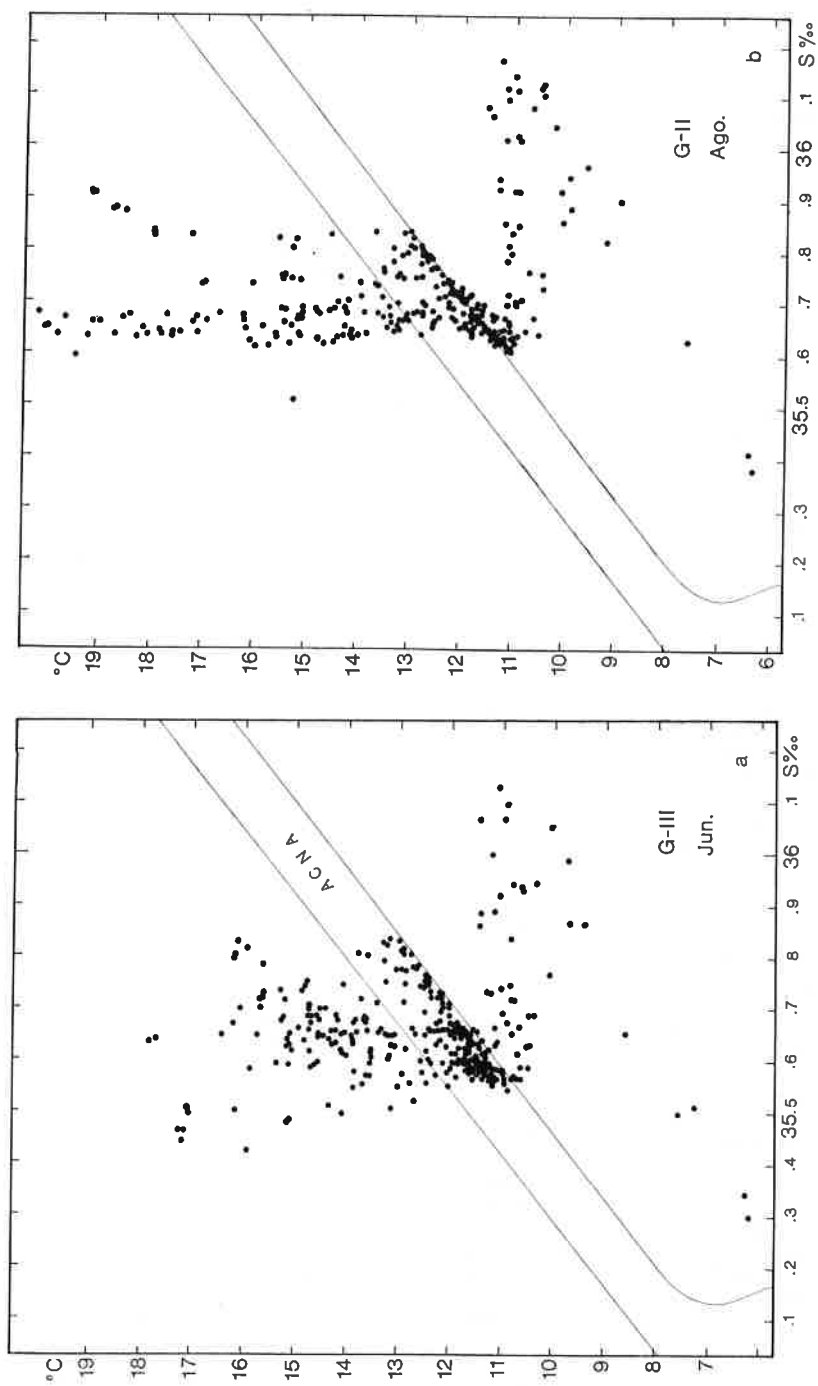
En la zona G, el agua subsuperficial, formada por ACGV entre los 75 a 400 m, y el agua superficial, desde 0 a 75 m, circulan ambas en la misma dirección y, por consiguiente, todo el plancton, incluido el zooplancton de emigración vertical, irá arrastrado hacia el cabo Finisterre, donde, en parte, será transportado mar afuera en los niveles inferiores del agua central. También la viabilidad de huevos y larvas de peces puede estar muy relacionada con el sistema de circulación descrita porque primero serán transportados hacia una zona de afloramiento de alta producción, pero finalmente serán dispersados mar afuera si todavía permanecen en la fase planctónica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Aida Fernández su colaboración tanto en las campañas como en el cálculo numérico de algunos datos, y al Dr. A. A. Romaña por habernos facilitado datos hidrográficos de la zona estudiada, pertenecientes a otras campañas.

BIBLIOGRAFÍA

- BYUNG, S. K. — 1980. Les eaux profondes de l'Atlantique Nord-Est, hydrologie et circulation. *Tesis doctoral. 3.º ciclo, 140 págs. Université de Bretagne Occidentale.*
- COOPER, L. N. H. — 1949. Cascading over the continental slope of water from the Celtic Sea. *Journ. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 28: 719-750.
- FRAGA, F. — 1977. Hidrografía de la región de afloramiento de la costa de Galicia. II. Datos básicos de la campaña Galicia II. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 6: 135-149.
- 1978. La campaña oceanográfica en las costas gallegas. *Arbor*, 388: 531-544.
- 1981. Upwelling off the Galician coast, northwest Spain. *Coastal Upwelling Research*, 1980.
- FRAGA, F., M. ESTRADA y C. MOURIÑO. — 1978. Campaña «Galicia IV». Datos básicos. II. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 7: 241-256.
- FRANCO, J. M., F. FRAGA, J. M. F. REIRIZ y C. MOURIÑO. — 1978. Región de afloramiento de la costa de Galicia. Datos hidrográficos básicos de la campaña «Galicia III» y contaminantes organoclorados. *Ibidem*, 7: 33-58.
- FRUCHAUD-LAPARRA, B. — 1976 a. Phygas 32. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1973. *Rapp. scient. techn., CNEXO n.º 26*: 39-54.
- 1976 b. Phygas 33. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1973. *Ibid.*, 26: 55-66.
- GONZÁLEZ, N., M. T. NUNES, M. L. IGLESIAS y J. M. CABANAS. — 1980. Introducción al estudio de la plataforma continental contigua a las rías de Arosa y Muros (NW de España). I. Estudio químico. *Bol. Inst. Esp. Ocean.*, 5 (n.º 282): 77-87.
- ISELIN, C. O'D. — 1936. A study of the circulation of the western North Atlantic. *Papers in Physical Oceanogr. and Meteorol.*, 4 (4): 101 págs.
- KARTAVTSEFF, A. y A. BILLANT. — 1979. Experience «N.E.A.D.S.» Northeast Atlantic dynamic studies. *Résultats des Campagnes à la Mer*, 1 (8): 237 págs.
- LACOMBE, H. — 1961. Mesures de courant a 1000 mètres de profondeur à l'ouest de la côte espagnole. *Cahiers Océan.*, 13: 9-13.
- LACOMBE, H. y P. TCHERNIA. — 1960. Quelques traits généraux de l'hydrologie Méditerranéenne. *Cahiers Océan.*, 12 (8): 527-547.
- LE CORRE, P. y P. TREGUER. — 1976. Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. *Tesis doctoral, 491 págs. Université de Bretagne Occidentale. Brest.*
- LE FLOCH, J. — 1969. Sur la circulation de l'eau d'origine méditerranéenne dans le Golfe de Gascogne. *Cahiers Océan.*, 11 (5): 653-661.
- LE TAREAU, J. Y. y J. LE FLOCH. — 1976. Phygas 41. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1974. *Rapp. scient. techn. CNEXO*, 30: 9-28.
- MADELAIN, F. — 1972. Données sur la circulation d'eaux d'origine méditerranéenne au niveau du cap Finisterre. *Ibid.*, 11: 18 págs.
- MADELAIN, F. y B. FRUCHAUD-LAPARRA. — 1976. Phygas 42. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1974. *Rapp. scient. techn., CNEXO*, 30: 29-44.
- MAMAYEV, O. I. — 1975. *Temperature-salinity analysis of world ocean waters*, 374 págs. Elsevier Oceanography Series, 11. Amsterdam.
- MANRÍQUEZ, M., F. FRAGA y R. MASSOL. — 1976. Datos hidrográficos de las costas NW de España «Campaña Galicia I». *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 5: 1-18.
- MANRÍQUEZ, M., C. MOURIÑO y F. FRAGA. — 1978. Campaña «Galicia IV». Datos básicos. I. *Ibidem*, 7: 195-240.
- PARRILLA, G. y J. M.ª G. MORÓN. — 1971. Contribución al estudio de la vena de agua mediterránea en la costa occidental de la Península Ibérica. *Bol. Inst. Español Ocean.*, 145: 23 págs.
- SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON y R. H. FLEMING. — 1946. *The Oceans. Their physics, chemistry and general biology*. 1087 págs. Ed. Prentice-Hall, Inc., New York.
- SWALLOW, J. C., W. J. GOULD y P. M. SANDERS. — 1977. Evidence for a poleward eastern boundary current in the North Atlantic Ocean. *ICES. Hydrog. Comm. C.M.* 1977/C: 32.
- TANGUY, A. y J. LE FLOCH. — 1976. Phygas 31. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1973. *Rapp. scient. techn., CNEXO*, 26: 10-38.
- U. S. NAVAL OCEANOGRAPHIC OFFICE. — 1967. *Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean. Sec. II. Physical properties*. Pub. n.º 700, 300 págs.



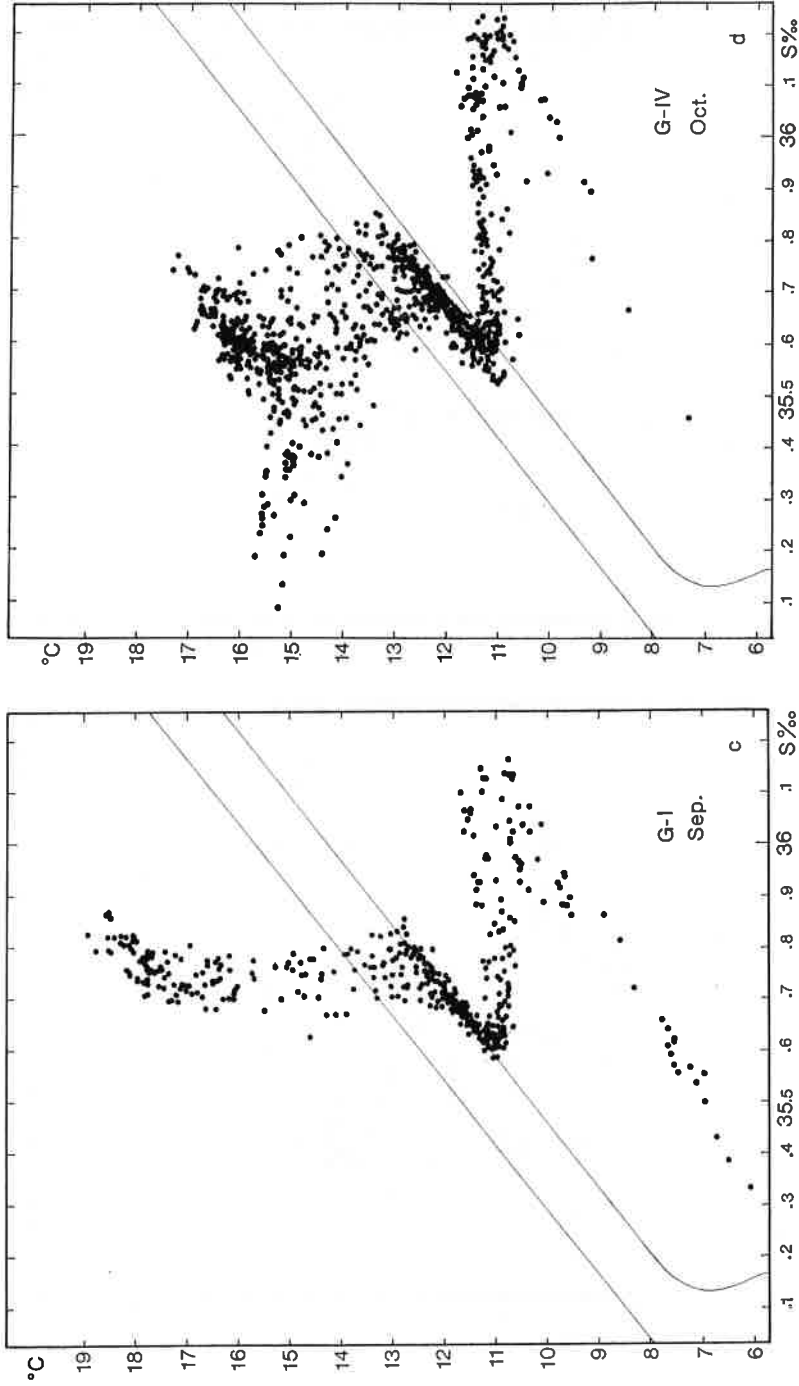
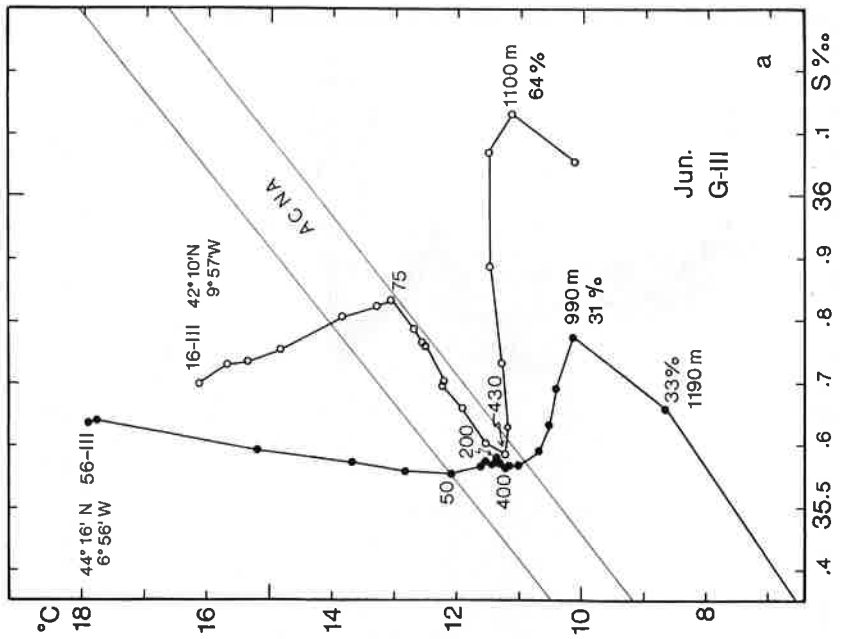
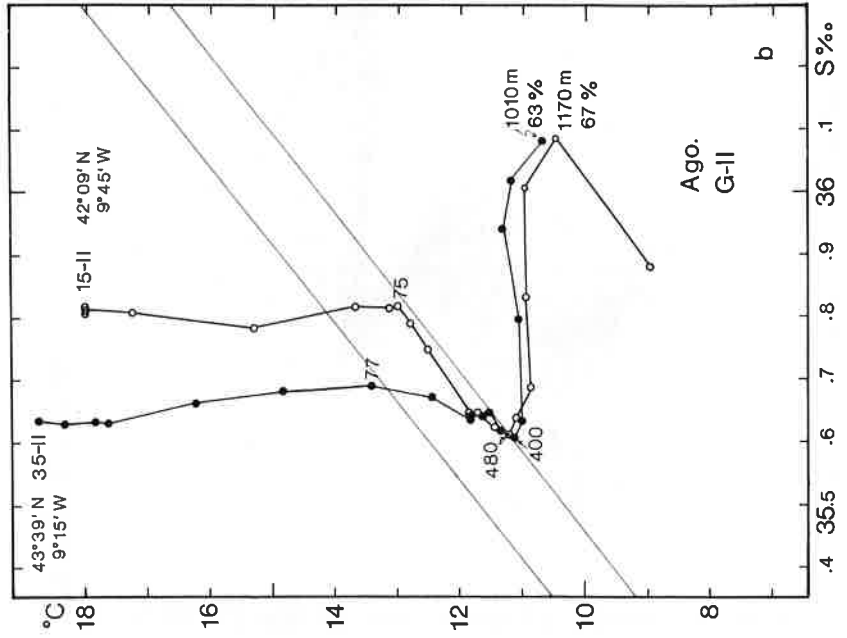


Fig. 7.— Distribución de los puntos sobre el diagrama T-S de todas las muestras tomadas, representando por separado cada una de las cuatro campañas.



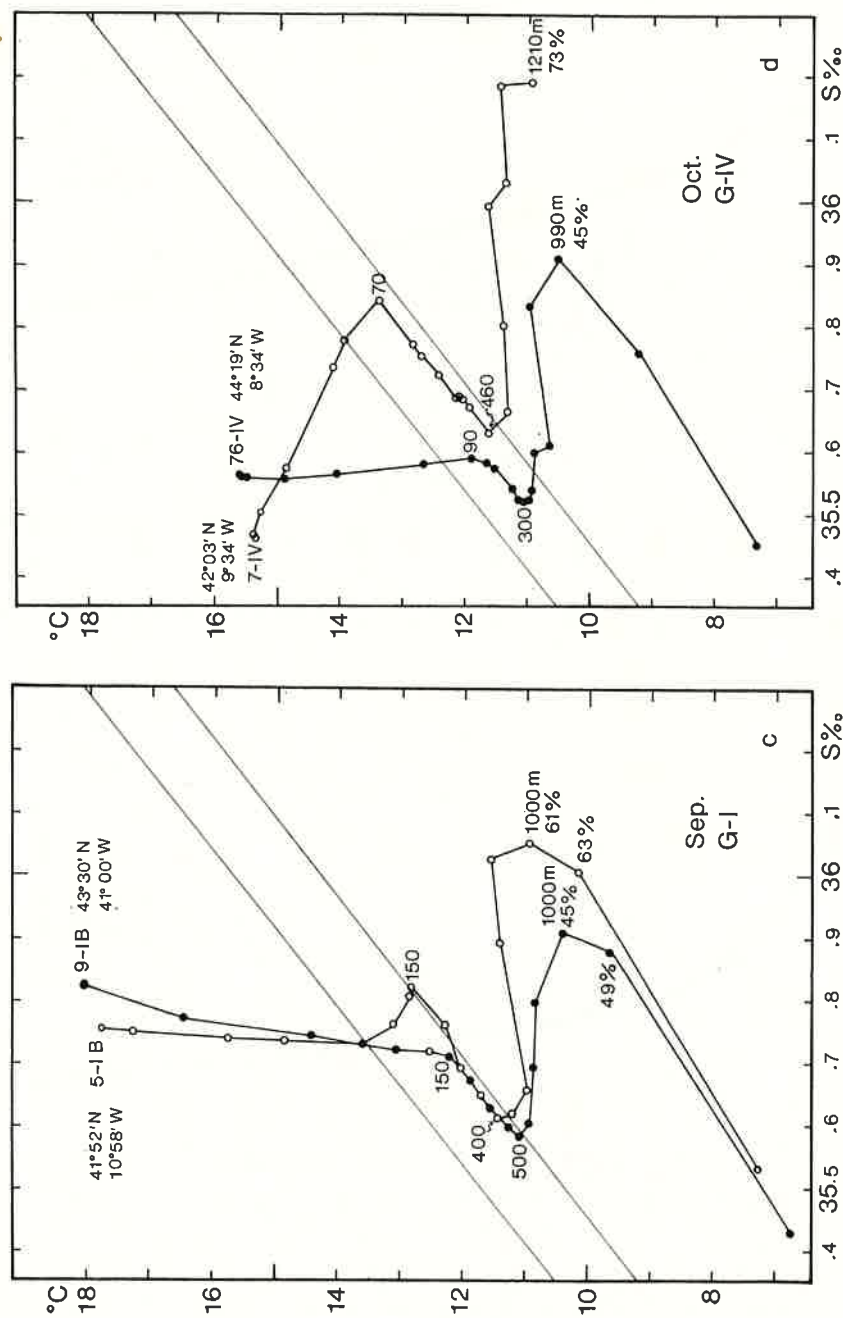


Fig. 8. — Dos de los diagramas T-S más representativos para cada campaña. Círculos en negro, zona nordeste. Círculos blancos, zona sur. En la campaña G-I, ambos diagramas corresponden a la zona oeste; véase situación en la figura 1. Los % se refieren a la proporción de Agua Mediterránea.

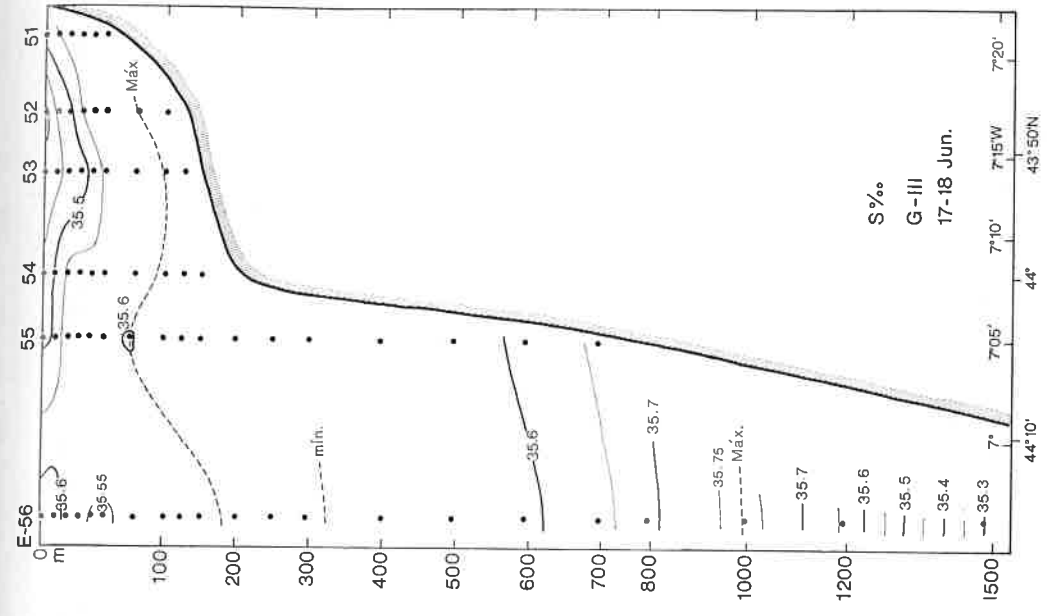


FIG. 12

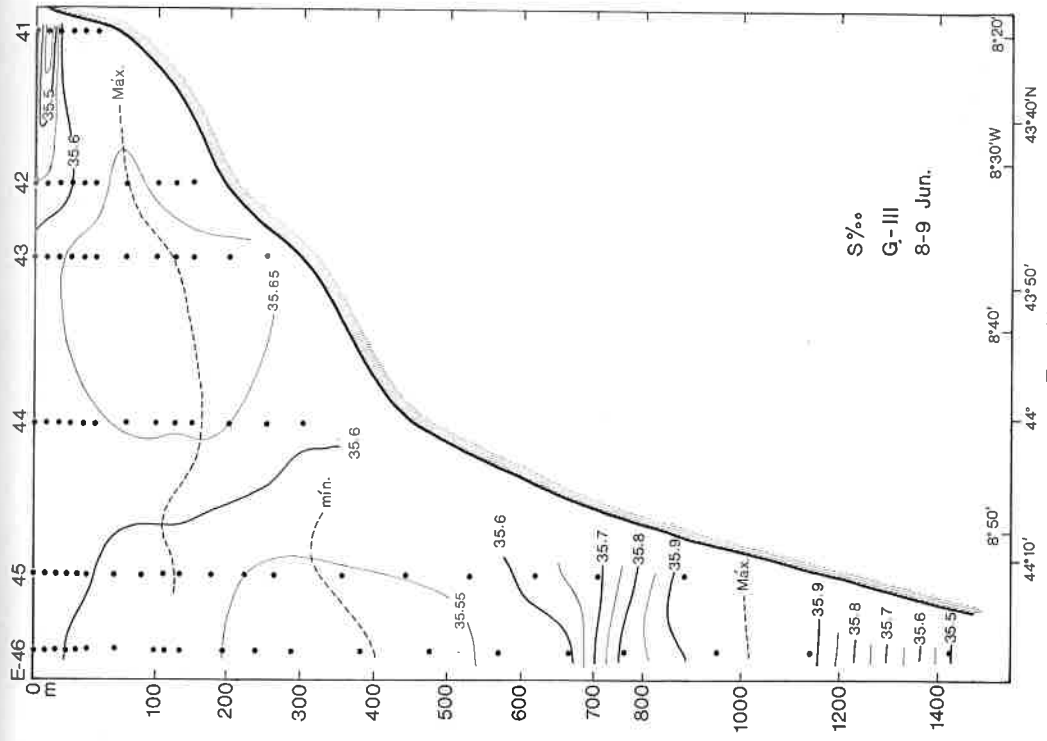


FIG. 11

Figs. 9, 10, 11 y 12.—Cortes verticales de salinidad correspondientes a la campaña GALICIA III, 3-25 de junio de 1976. Las líneas de puntos de máx y mín de S ‰ situados a 75 y 400 m corresponden a los límites superior e inferior del ACNA. El máx a 1000 es de AM. El máx a 10 m de la figura 10 no tiene ninguna relación con el ACNA.

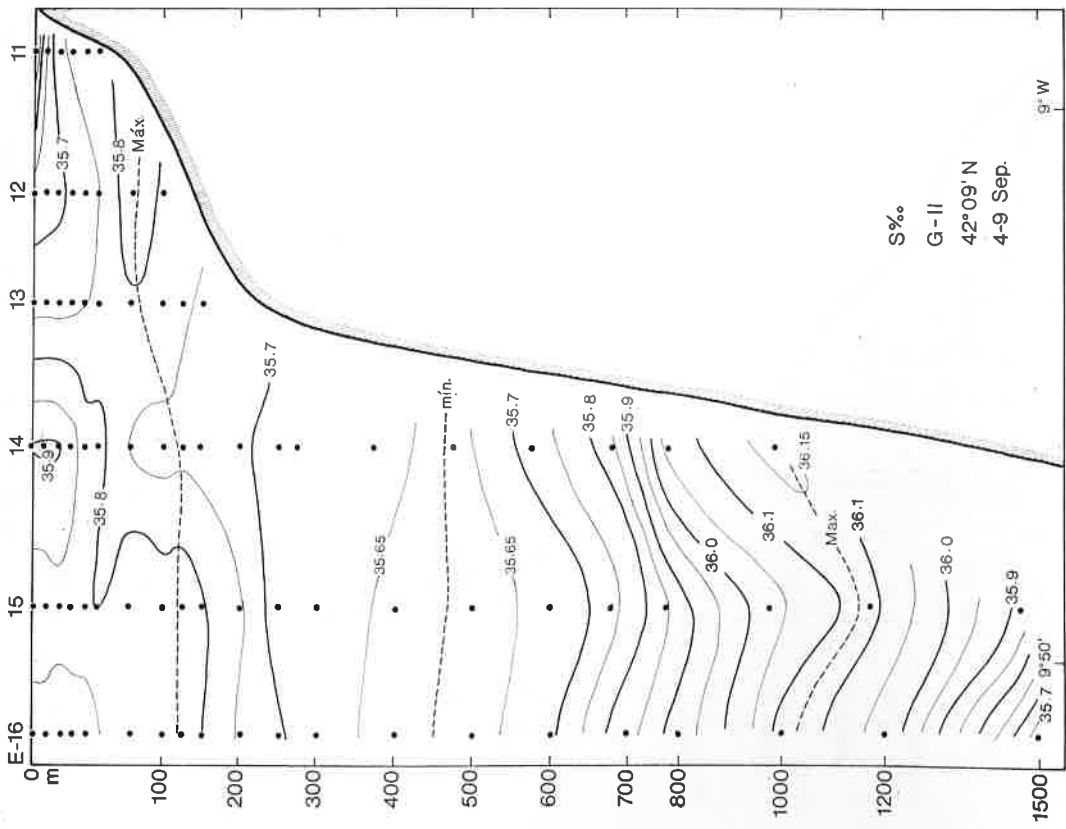


FIG. 13

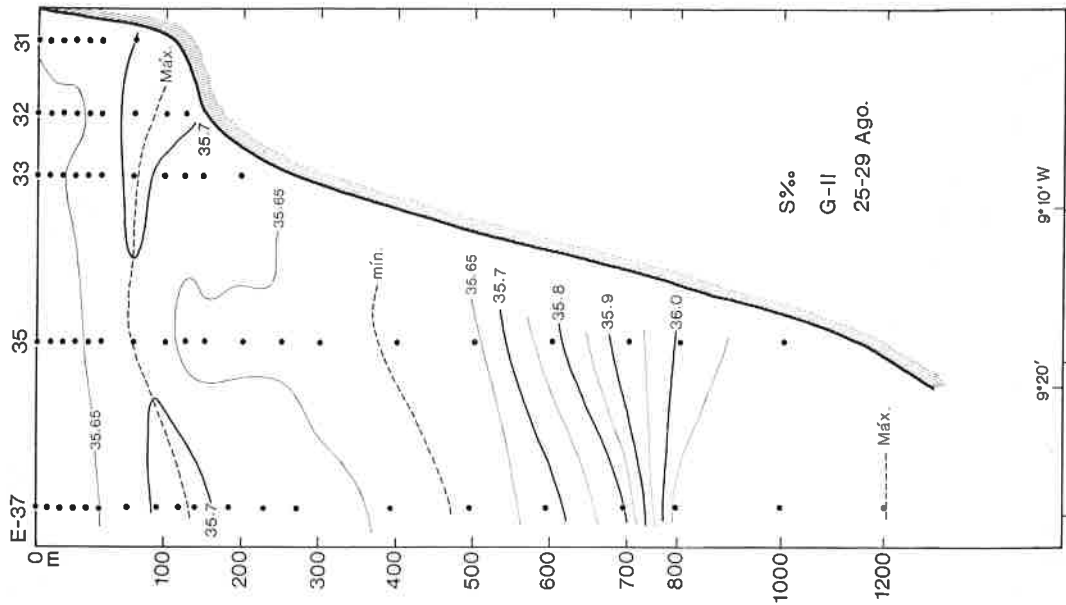


FIG. 14

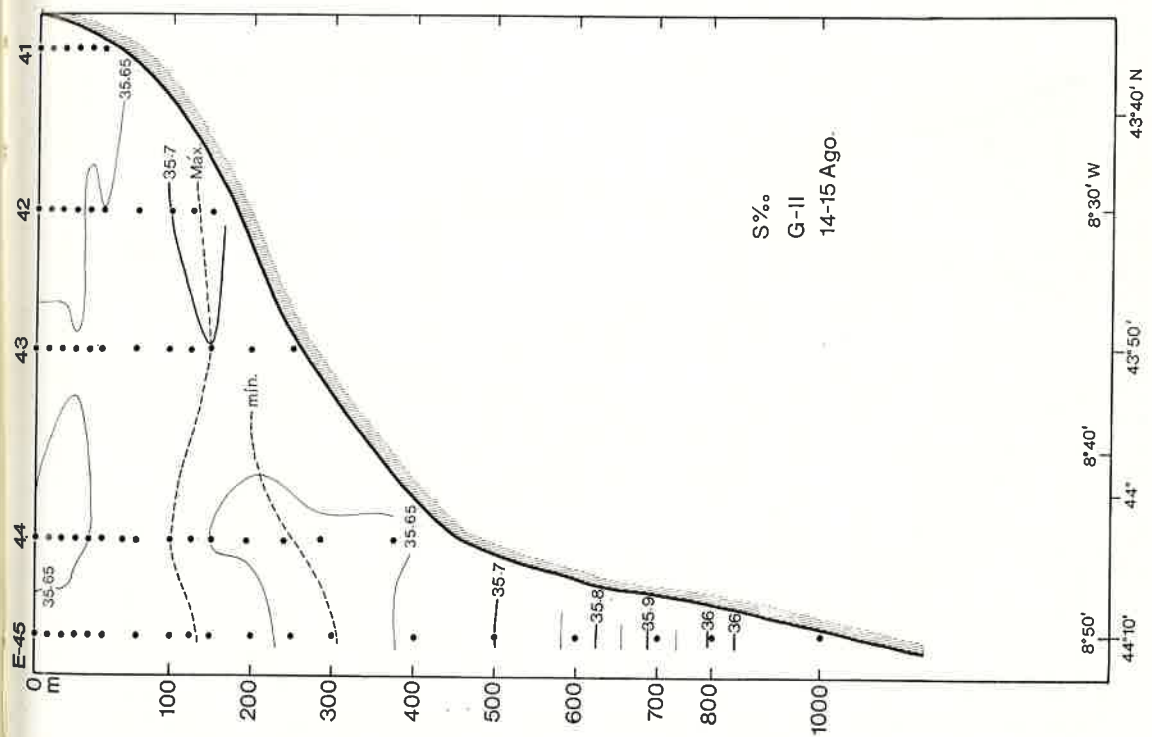


FIG. 15

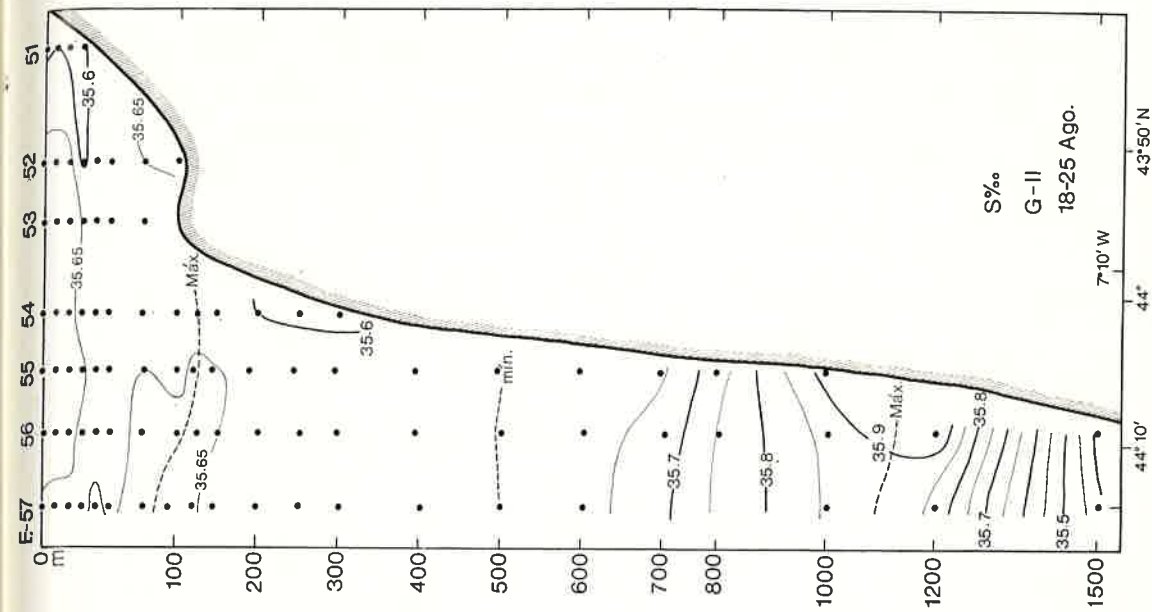


FIG. 16

Figs. 13, 14, 15 y 16. — Cortes verticales de salinidad correspondientes a la campaña GALICIA II, 14 agosto - 9 septiembre 1975.

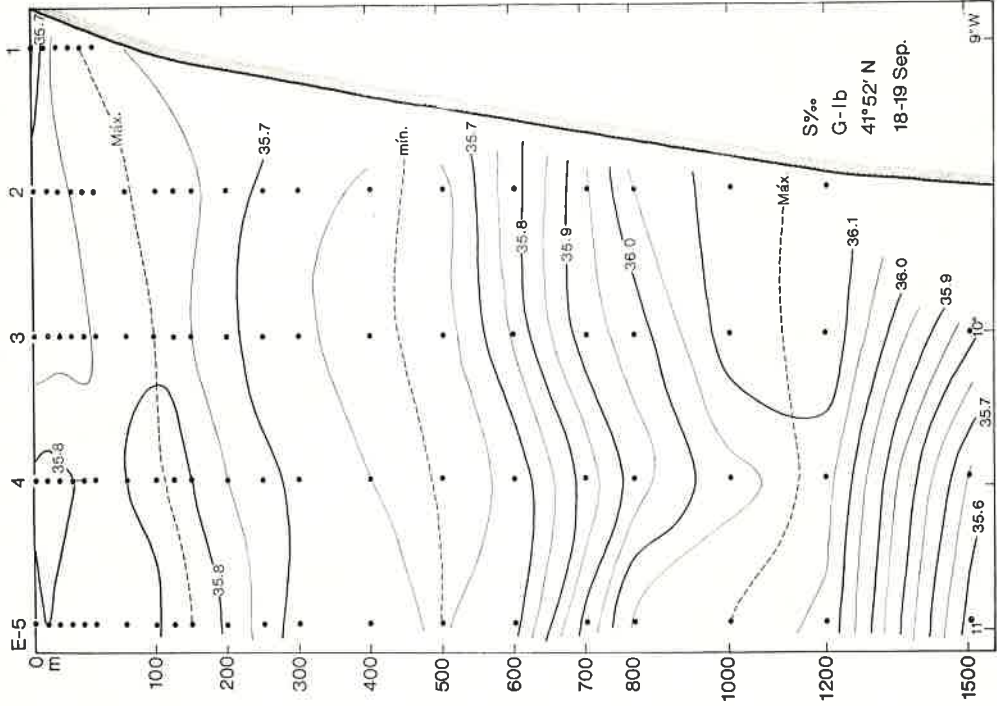


FIG. 18

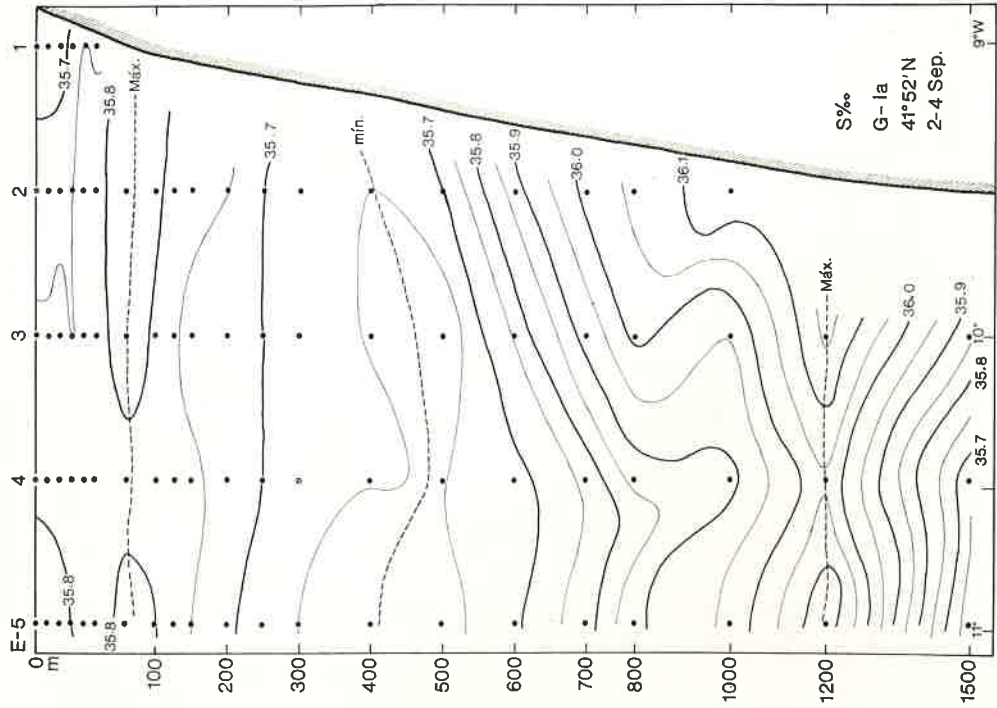


FIG. 17

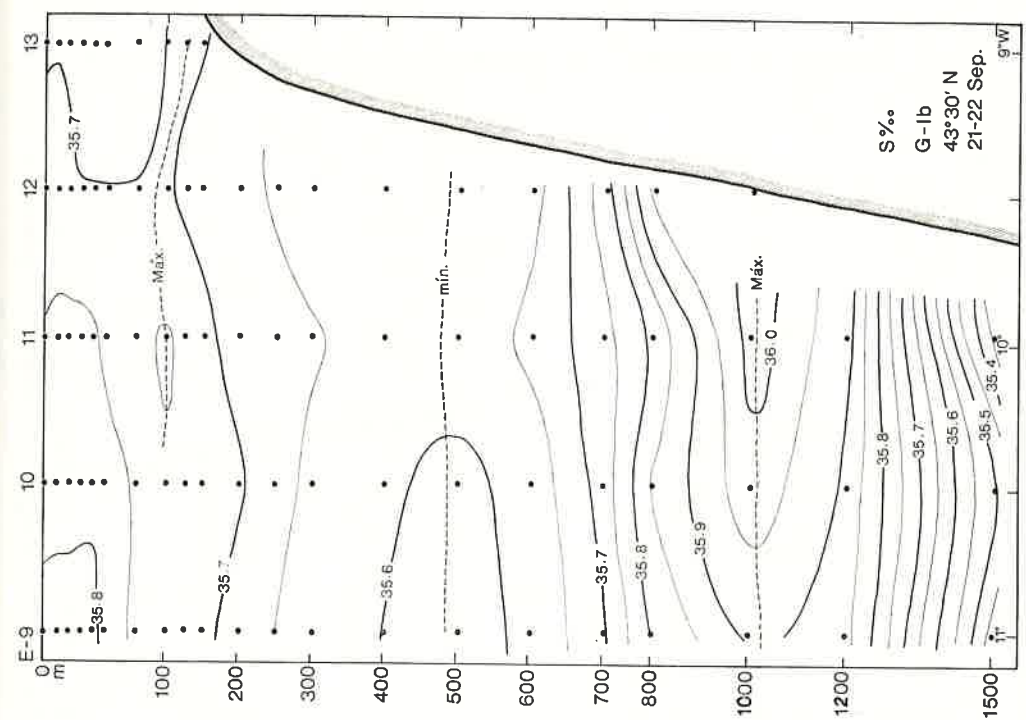


FIG. 20

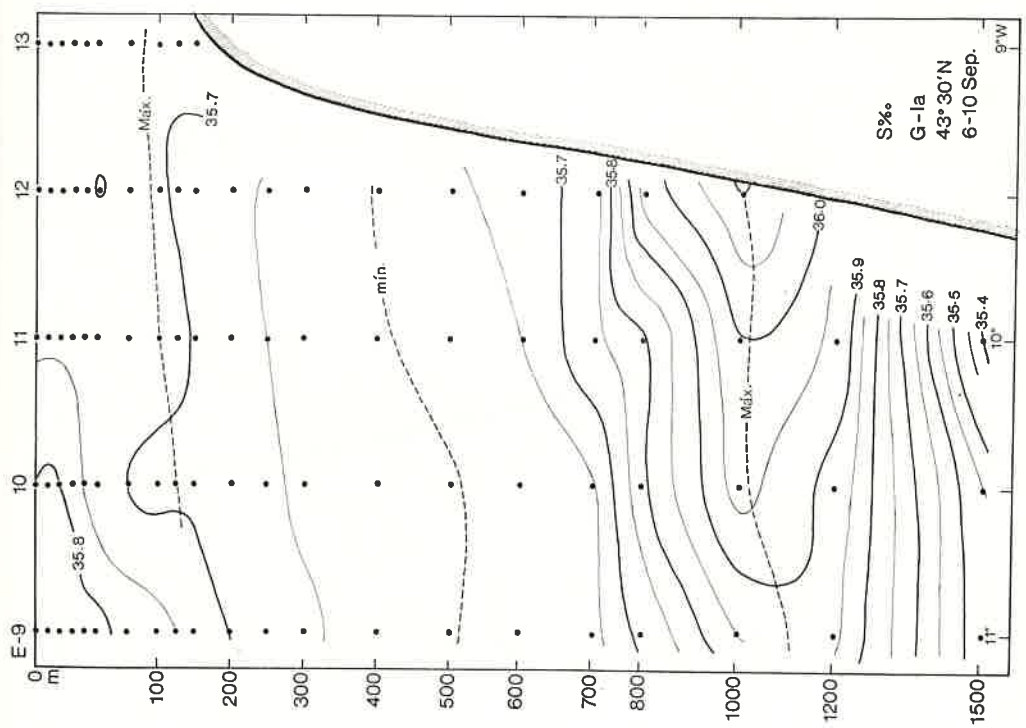


FIG. 19

Figs. 17, 18, 19 and 20. — Cortes verticales de salinidad correspondientes a la campaña GALICIA I, 22 de septiembre de 1974. Figuras 17 y 18, el mismo corte con un intervalo de 15 días. Figuras 19 y 20, el mismo corte con un intervalo de 14 días.

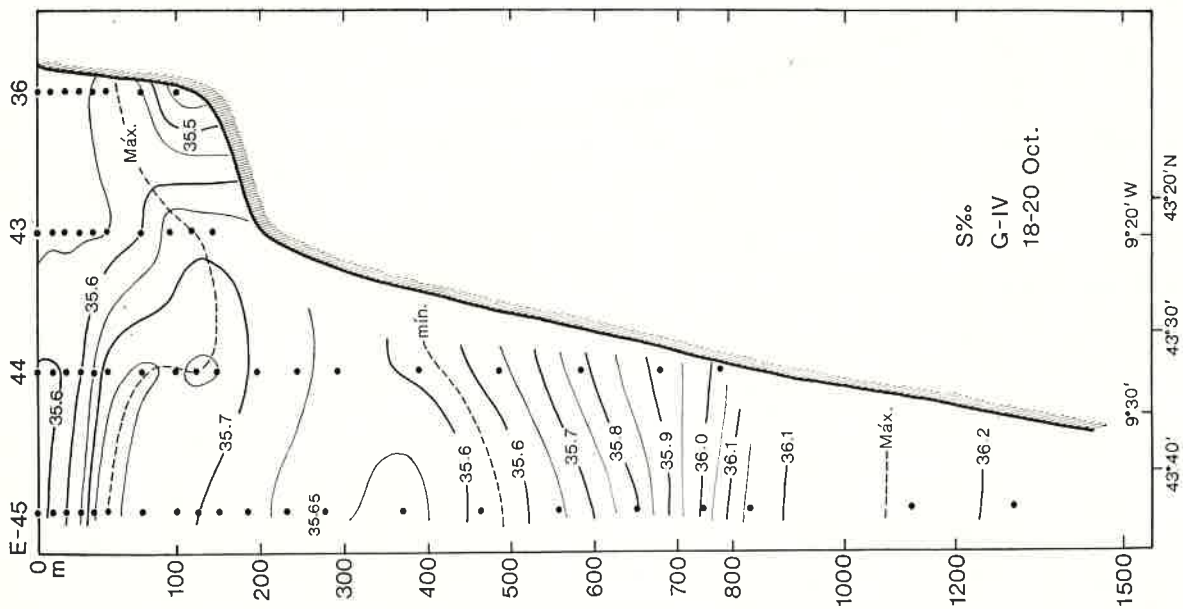


FIG. 22

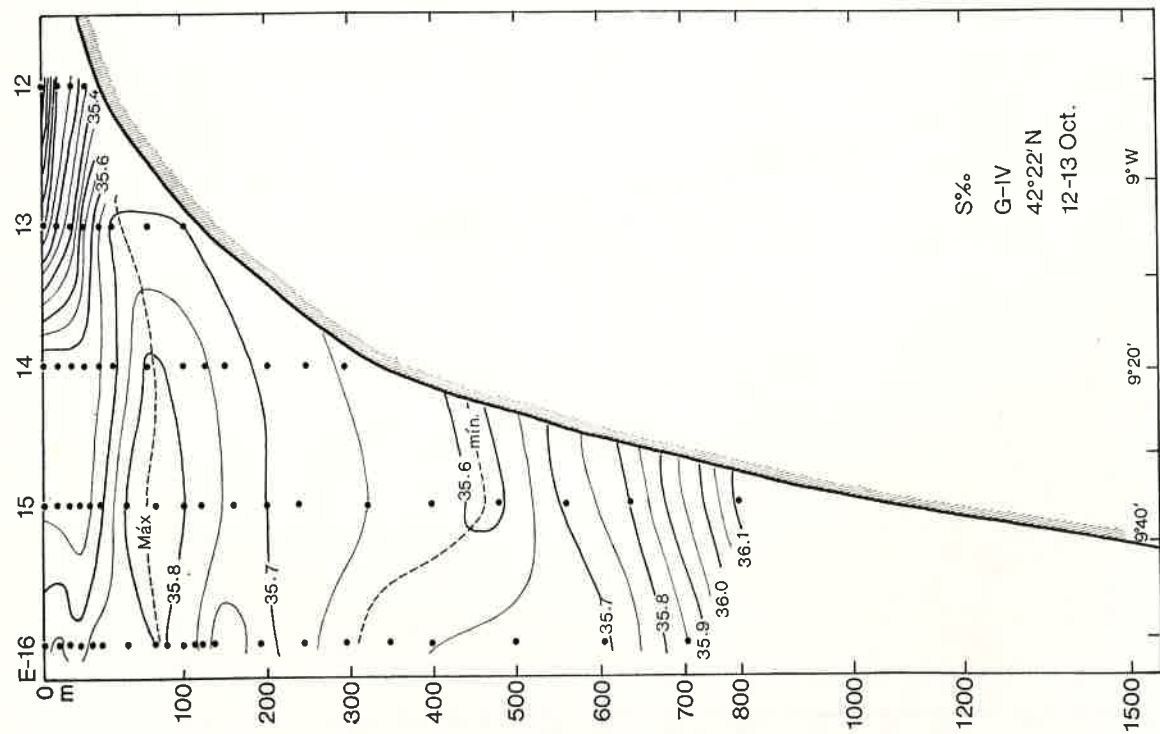


FIG. 21

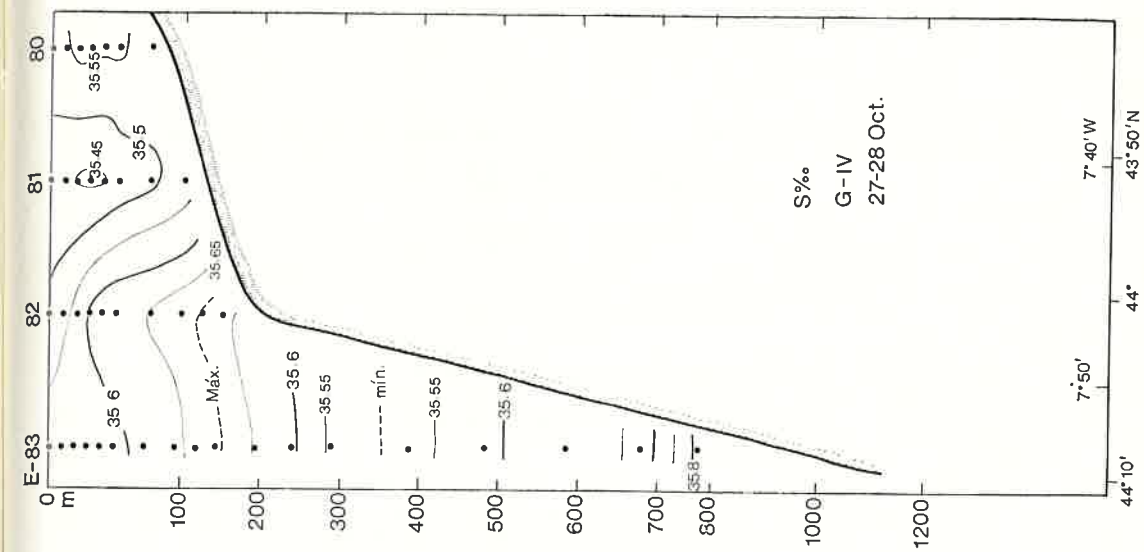


FIG. 24

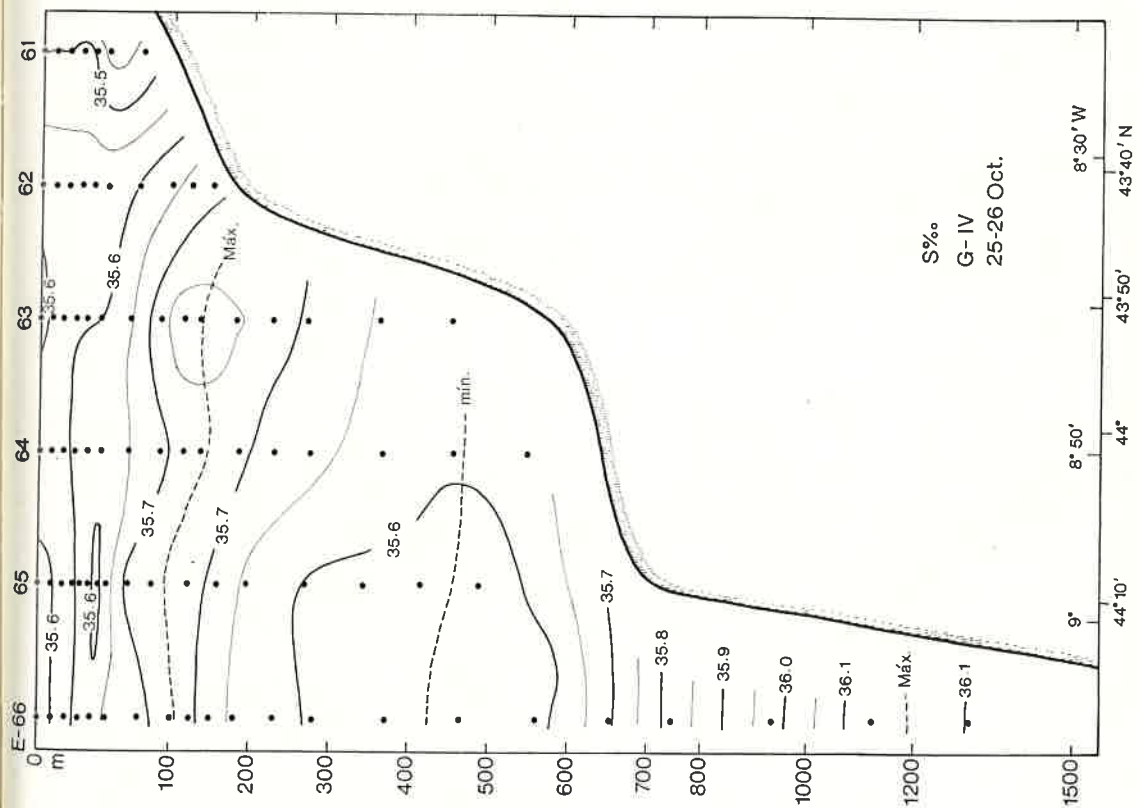


FIG. 23

Figs. 21, 22, 23 y 24. — Cortes verticales de salinidad correspondientes a la campaña GALICIA IV, 12 al 28 de octubre de 1977.