

Masas de agua alrededor de las Islas Baleares

José L. López-Jurado

Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Baleares, Apdo. 291, 07015 Palma de Mallorca, España.

RESUMEN

El mar que rodea las Islas Baleares, situado entre tres focos de agua tipo, es un lugar idóneo para estudiar y comprender la dinámica de las masas de agua del Mediterráneo Occidental. Durante los años 1985 a 1988, varias instituciones españolas llevaron a cabo ocho campañas oceanográficas en esas aguas. En el presente trabajo se estudian los datos obtenidos en esas campañas, analizando y caracterizando las distintas masas de agua en función de su temperatura y salinidad. A partir de este estudio se observan ciertas pautas de comportamiento estacional e interanual, relacionadas con el ciclo anual y con variaciones climatológicas.

Palabras clave: masas de agua, dinámica, temperatura, salinidad, Islas Baleares.

SUMMARY

Water masses around Balearic Islands.

Balearic Islands, situated between three waters type focus area, are a proper place for study and understanding the dynamics of Western Mediterranean water masses. Since 1985 to 1988, eight oceanographic surveys surrounding these islands have been made. Data were studied, temperatures and salinity were used to determinate the water masses and different aspects of seasonal and inter-annual behaviour have been described associated to the annual cycle and the general climatological conditions.

Key words: water masses, dynamics, temperature, salinity, Balearic Islands.

1. INTRODUCCION

El estudio hidrográfico de las aguas que rodean las Islas Baleares debería hacerse en función de la dinámica de las masas de agua y de su circulación en el Mediterráneo Occidental, y no atendiendo única y exclusivamente a las características de las mismas.

El conocimiento de esta circulación ha evolucionado con el tiempo, desde los trabajos clásicos de Nielsen (1912), hasta los más recientes fundamentados en imágenes de satélites, Millot (1987). Esencialmente, está basada en el movimiento de tres masas

de agua, a las que en ocasiones se suma de forma estacional y sobre todo en la parte septentrional de las Islas un nuevo tipo de agua. Como es sabido, en superficie se halla el Agua Atlántica Modificada (AAM), debajo de ella el Agua Levantina Intermedia (ALI), y entre ésta y el fondo, la denominada Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (APMO). Al agua estacional se la denomina Agua Intermedia del Mediterráneo Occidental (AIMO) y circula entre el agua de superficie y la Levantina Intermedia.

Las características más sobresalientes de esta circulación, de acuerdo con las teorías más recientes, las podemos resumir de la siguiente manera:

— El Agua Atlántica (AA) llega a las Islas después de haber atravesado el mar de Alborán (Parrilla & Kinder, 1987), como resultado principalmente de los giros anticiclónicos generados por la corriente Argelina, entre 3 °E-5 °E (Taupier-Letage & Millot, 1988). Estos giros se mueven entre la costa africana y las Islas Baleares hasta la proximidad de Cerdeña, estando limitados al norte por el Frente Balear. Posteriormente estas aguas pueden contornear la costa Ligur-Provenzal continuando por la costa catalana y el canal de Ibiza (Fig. 1). Siendo esta circulación y los sucesivos procesos de mezcla con las aguas superficiales y subsuperficia-

deña (7 °E-8 °E), Katz (1972), dando origen a la circulación ciclónica de esta masa de agua por las costas septentrionales del Mediterráneo Occidental (Fig. 2) y llegando hasta el canal de Ibiza (Font, 1987); la segunda vía más controvertida, a través de los filamentos o lentejuelas atrapados por los giros anticiclónicos, en los movimientos antes descritos en la cuenca Argelina.

— El Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (APMO), por otra parte tiene su origen en los procesos convectivos de invierno en áreas del Golfo de León y Mar Lígur, su circulación hacia el sur se produce principalmente a través de la cuenca Arge-

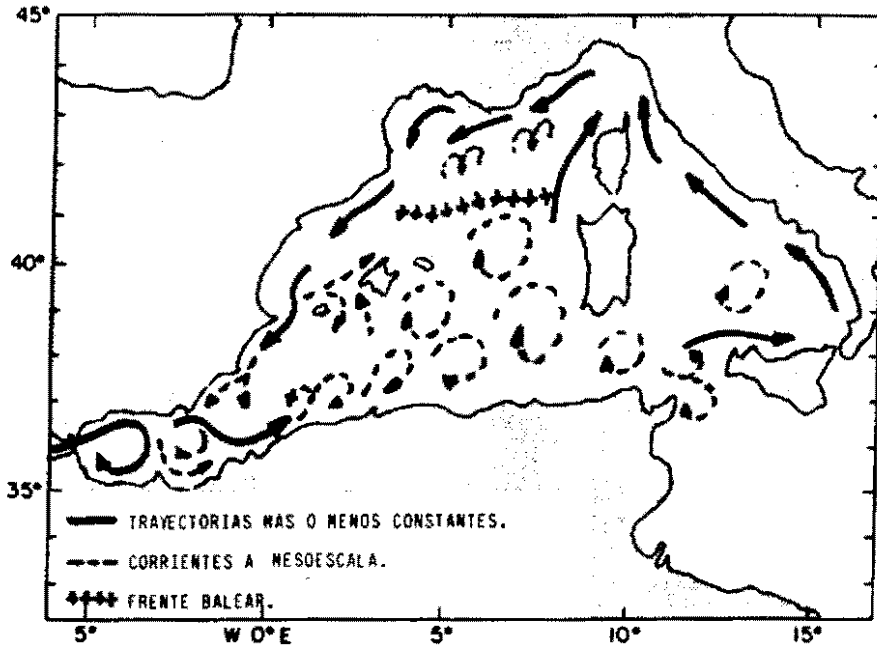


Fig. 1.—Circulación superficial (Millot, 1987).

les residentes en las distintas áreas del Mediterráneo Occidental, lo que da origen a una agua superficial de mayor salinidad, que por sus características un tanto alejadas de las del agua origen (AA), denominamos Agua Atlántica Modificada (AAM).

— El Agua Levantina Intermedia (ALI), después de atravesar el Canal de Sicilia y circular por el Tirreno, llega hasta nosotros a través de dos vías. La primera nace en el desplazamiento circular hacia el norte del ALI, corriendo paralela a la costa de Cer-

deña, pudiendo también atravesar los canales de Ibiza y Mallorca.

— Por último, el Agua Intermedia del Mediterráneo Occidental (AIMO) aparece estacionalmente en la parte septentrional de las Islas como resultado de los procesos convectivos de invierno en áreas próximas a las de formación de Agua Profunda (Katz, 1972; Salat & Font, 1987), algunos autores las denominan aguas septentrionales. Estas aguas atraviesan los canales de Ibiza y Mallorca en los meses de verano extendiéndose

se y mezclándose con las aguas de la cuenca Argelina (Katz, 1972; Font, 1987, y Pistek, 1987).

Dejando aparte los trabajos llevados a cabo por investigadores extranjeros (Allain, 1960; Wust, 1961; Ovchinnikov, 1966), hasta la fecha del comienzo de las campañas a que hace referencia este trabajo, se habían desarrollado pocos estudios sistemáticos, por parte de instituciones españolas, en las aguas de este archipiélago. Dentro de éstos, de-

leares, el Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona, el Instituto Español de Oceanografía y la Universidad de las Islas Baleares, llevaron a cabo una serie de campañas oceanográficas estacionales, en mar abierto y sobre la plataforma insular. Estas campañas estuvieron repartidas en dos programas diferentes: en el primer programa «Sistema Nerítico Balear» se efectuaron las dos primeras, BALEARES I y II; en el segundo, «Oceanografía y Producción Pesquera», las

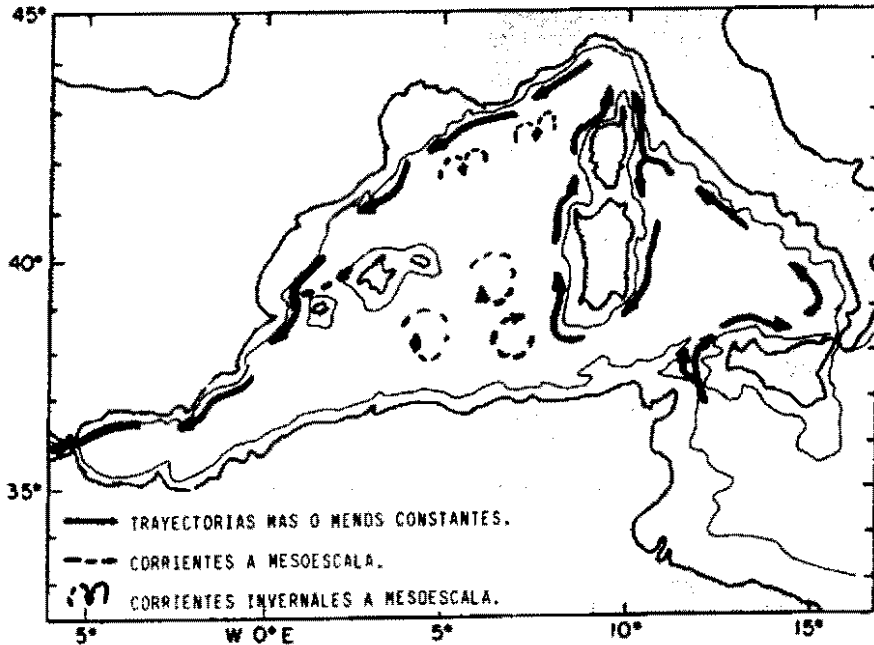


Fig. 2.—Circulación del Agua Levantina Intermedia (Millot, 1987).

bemos destacar los trabajos que bajo la denominación de Oceanografía Biológica llevó a cabo el Instituto Español de Oceanografía durante los años 1975-1976. Información parcial de los mismos caracterizando el AIMO aparece publicada por Deyá (1978); otros trabajos llevados a cabo por el Instituto de Ciencias del Mar son mencionados por Font (1987), basándose en ellos tanto Cruzado, Font como Salat y otros autores, caracterizan las masas de agua del mar Balear y su circulación a lo largo de la costa catalana (Tintore, 1987).

2. MATERIAL Y METODOS

A lo largo de los años 1985-1988, el Instituto de Estudios Avanzados de las Islas Ba-

leares, el Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona, el Instituto Español de Oceanografía y la Universidad de las Islas Baleares, llevaron a cabo una serie de campañas oceanográficas estacionales, en mar abierto y sobre la plataforma insular. Estas campañas estuvieron repartidas en dos programas diferentes: en el primer programa «Sistema Nerítico Balear» se efectuaron las dos primeras, BALEARES I y II; en el segundo, «Oceanografía y Producción Pesquera», las

seis restantes, BALEARES III, IV, V, VI, VII, VIII. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de las mismas. La situación de las estaciones de cada campaña se muestra en las Figs. 3a, 3b, 3c; en las campañas I y II esta situación coincide con la de las correspondientes de la IV a la VIII, aunque su numeración sea diferente. En la Tabla I se dan las fechas en las que se desarrollaron. Todas ellas estuvieron orientadas a la toma de datos meteorológicos, físicos, químicos y biológicos para el estudio de masas de agua, afloramientos, distribuciones de oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila, fitoplancton, zooplancton y estudios de biomasa. En el presente trabajo nos

TABLA I.— Fechas de las campañas.

	<i>Fechas campañas</i>	
Baleares I	21/07/85	26/07/85
Baleares II	14/10/85	19/10/85
Baleares III	15/11/86	19/11/86
Baleares IV	13/03/87	17/03/87
Baleares V	15/05/87	20/05/87
Baleares VI	16/09/87	20/09/87
Baleares VII	12/04/88	16/04/88
Baleares VIII	31/05/88	06/06/88

ceñiremos únicamente al aspecto hidrológico (masas de agua).

Las campañas fueron realizadas a bordo del B/O «García del Cid» y las estaciones hidrográficas se llevaron a cabo mediante la toma de muestras a profundidades estándares con botellas Niskin. (Estas profundidades

fueron: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 y 1 000 m.) La temperatura se tomó con termómetros reversibles y la salinidad fue determinada, a partir de esas muestras, por un salinómetro de inducción (AUTOSAL guildline, modelo 8400a). La totalidad de valores de ambos parámetros han sido revisados y corregidos en su conjunto y contrastados con datos históricos. Si bien los datos de temperatura se pueden considerar de toda fiabilidad, algunos datos de salinidad ofrecen ciertas dudas, por lo que tendrían que utilizarse con cautela.

Para diferenciar las distintas masas de agua, hemos tenido presente los valores de temperatura y salinidad que caracterizan las aguas tipo en sus regiones de origen (Salat & Cruzado, 1981):

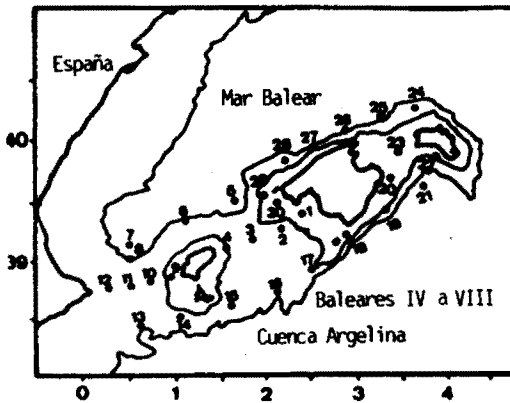
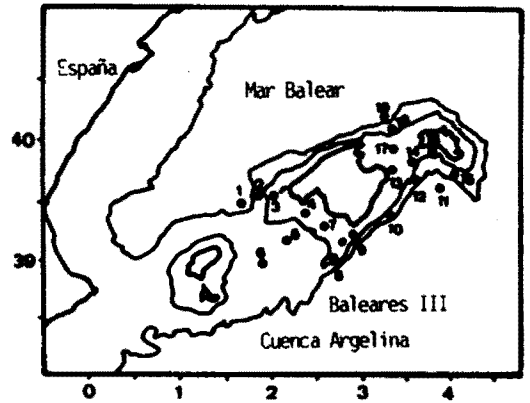
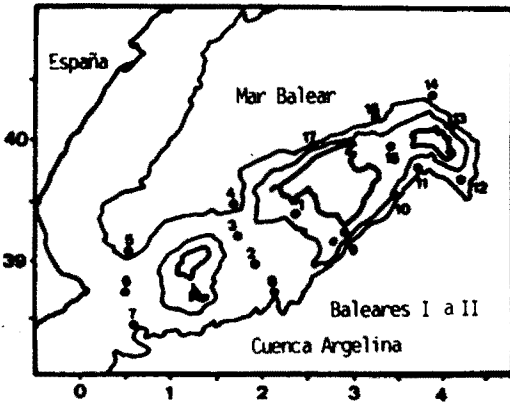


Fig. 3a, b, c.—Distribución de estaciones en las distintas campañas.

Agua Intermedia del Mediterráneo Occidental (AIMO) de formación local en invierno, con $12.5^\circ < T < 13^\circ \text{C}$ y $38.1 < S < 38.3$ U.S.P.

Agua Intermedia del Mediterráneo Occidental (AIMO) de formación local en invierno, con $12.5^\circ < T < 13^\circ \text{C}$ y $38.1 < S < 38.3$ U.S.P.

Agua Levantina Intermedia (ALI), que entra por el estrecho de Sicilia, con valores de $14^\circ < T < 15^\circ \text{C}$ y $38.7 < S < 38.8$ U.S.P.

Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (APMO) formada en invierno en el Golfo de León y Mar Lígur, con valores comprendidos entre $12.75^\circ < T < 12.9^\circ \text{C}$ y $38.4 < S < 38.48$ U.S.P.

Por tanto, en las gráficas de perfiles de estaciones, la isoterma de 13°C nos ha servido para limitar a groso modo las distintas masas de agua, siendo sus rangos de temperatura y salinidad característicos, indicados arriba, los que nos llevan a definir sus límites.

3. DISCUSION DE RESULTADOS

En las figuras 4 y 5 representamos la distribución de temperatura y salinidad obtenidas en cada campaña. Pudiéndose ver la evolución de la temperatura desde la cuasi-homotermia invernal hasta la estratificación de verano, de igual forma en las distribuciones de salinidad se pueden distinguir los máximos y sugerir la presencia de las distintas masas de agua. El análisis de estos datos, junto con los espesores de las capas, sus profundidades y los valores de otros parámetros, nos lleva a determinar las características y aspectos de la circulación de las distintas masas de agua en el mar Balear, que pasamos a describir a continuación:

Agua superficial (AAM)

Estas aguas superficiales, Atlánticas Modificadas (AAM), tienen una salinidad que no supera en general los 38 U.S.P. (UNESCO-1978), con algunas excepciones en el área norte. Están influenciadas tanto por el agua de origen atlántico, principalmente en primavera y verano, como por las aguas superficiales de latitudes más altas, más salinas

especialmente durante el invierno, cuando los episodios de viento de componente norte (tramontana, mistral) aumentan la evaporación.

El grosor de esta capa es variable, pudiendo alcanzar los 150 m. En general los mayores espesores corresponden al área meridional, sur de Mallorca e Ibiza, y el máximo se observa dentro de los giros anticiclónicos, los cuales se mueven lentamente progresando hacia el este, entre las Islas y la costa africana y ocasionalmente se aproximan a nuestras costas, donde fueron registrados el 15/10/85 en la estación 7 (B-II) y el 04/06/88 en la estación 16 (B-VIII). El diagrama Temperatura/Salinidad de dichas estaciones lo tenemos en la Fig. 6, en donde podemos observar cómo los 14°C alcanzan 100 y 134 m de profundidad, respectivamente, con 38 U.S.P., cuando en estaciones próximas a esas profundidades se encuentran valores sobre 38.2 U.S.P. y temperaturas cercanas a los 13°C . Además, en la estación 16 de la campaña B-VIII se registraron a 181 m de profundidad 14.02°C y al no disponer de su correspondiente dato de salinidad, no aparece en el diagrama T/S, pero sí se puede observar en la distribución Temperatura/Profundidad de la Fig. 4 correspondiente a esa campaña.

Agua Intermedia del Mediterráneo Occidental (AIMO)

Estas aguas, caracterizadas por un mínimo de temperatura $T < 13^\circ \text{C}$ y salinidades comprendidas entre $38.1 < S < 38.3$ U.S.P., están situadas por debajo de la capa superficial. Su aparición es paulatina a medida que avanza el invierno, presentándose en primer lugar en el canal de Ibiza y norte de Menorca, circunstancia ésta imputable a nuestra propia distribución de estaciones, existiendo la posibilidad de su presencia en todo el norte de las Islas, en perfiles paralelos al nuestro, más alejados de las costas isleñas. La registramos en marzo de 1987 (Fig. 7) con valores de salinidad bajos ($S < 38.2$ U.S.P.) debido a mezclas con aguas densas, pero poco saladas de formación local o por influencia de aguas continentales (canal de Ibiza).

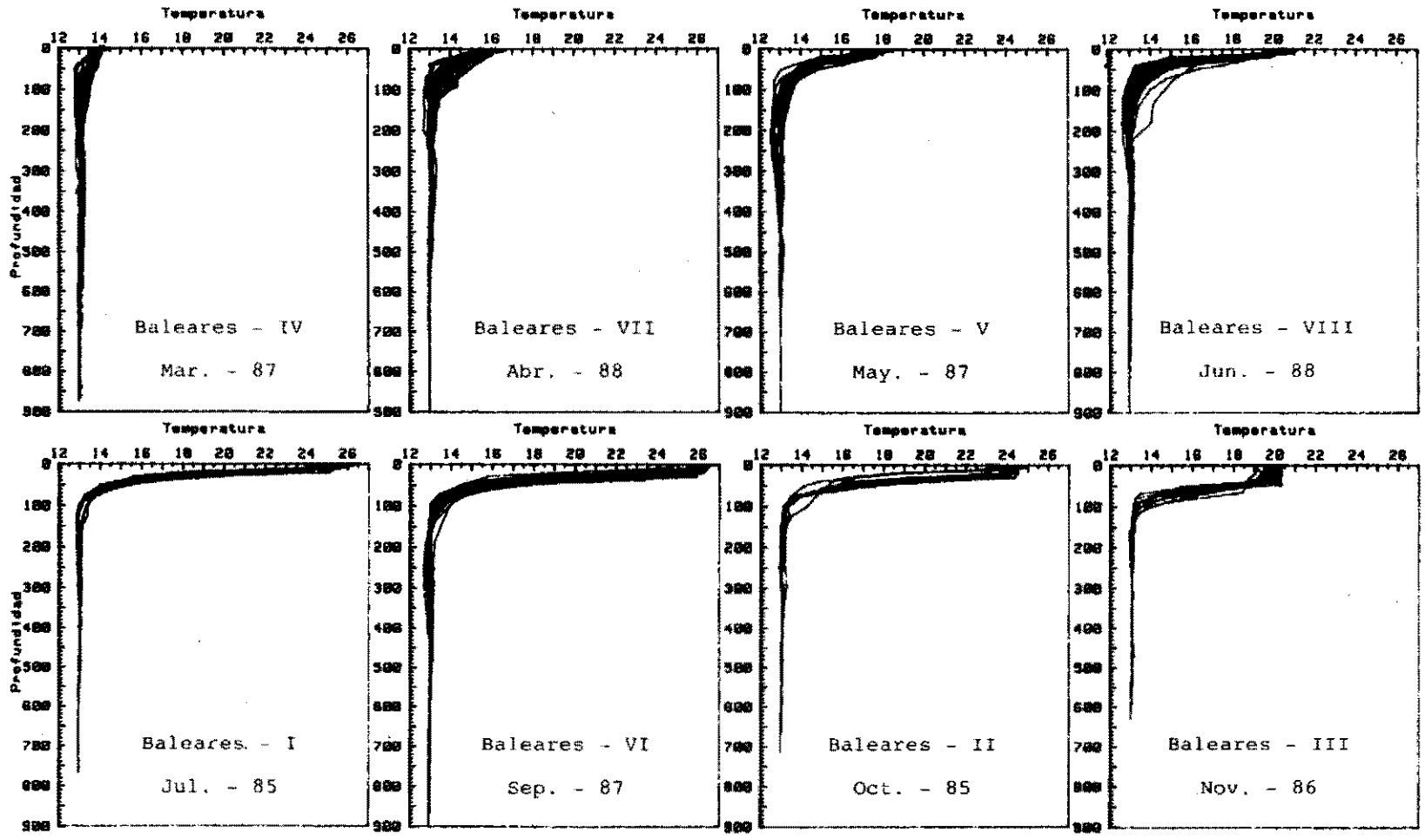


Fig. 4.—Distribución vertical de temperaturas del conjunto de estaciones de cada campaña.

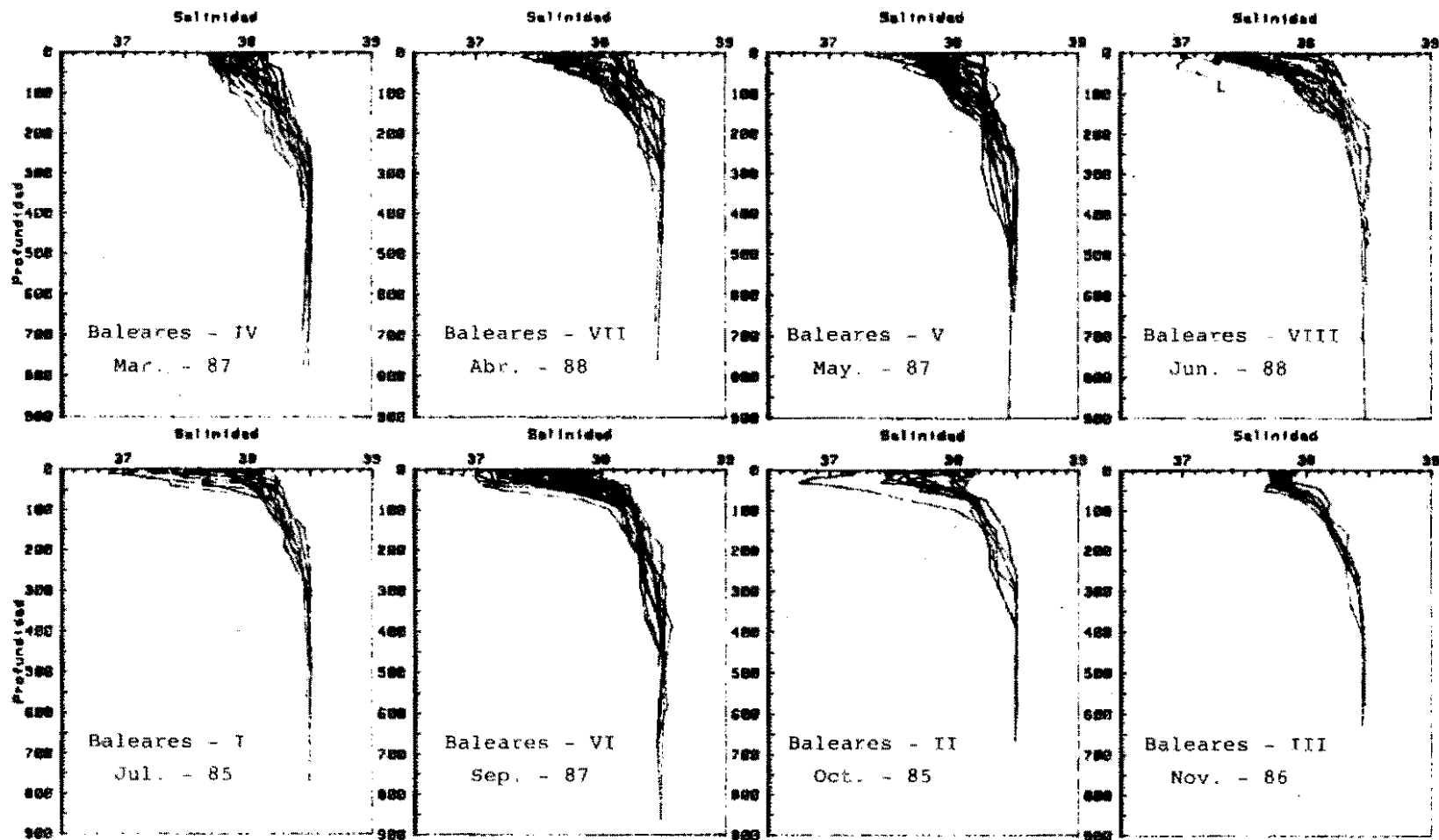


Fig. 5.—Distribución vertical de salinidad del conjunto de estaciones de cada campaña.

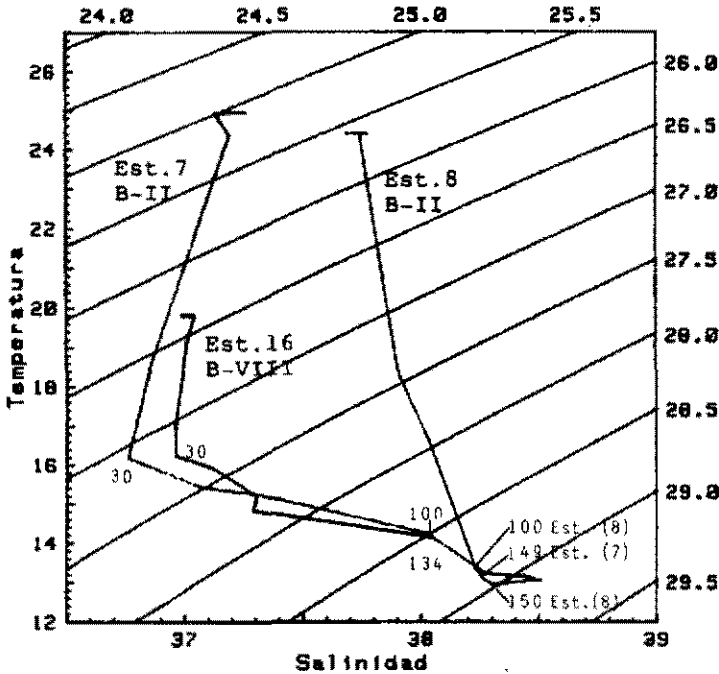


Fig. 6.—Diagramas temperatura, salinidad (T/S), correspondientes a la Est. 7 (B-II) y Est. 16 (B-VIII) dentro de giros anticiclónicos y la Est. 8 (B-II) fuera de éstos.

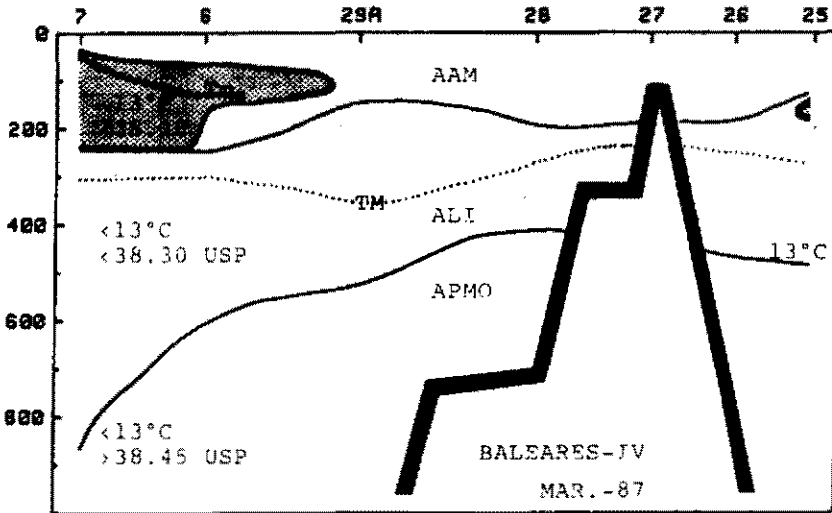


Fig. 7.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente norte de las islas, durante la campaña BALEARÉS-IV.

A medida que avanza la primavera, su presencia se hace cada vez más evidente, ocupando una estrecha capa a lo largo de la costa norte de las Islas. En abril de 1988 la encontramos con un espesor de 50-100 m; a finales de primavera ya ocupa todo el norte

de las Islas y su potencia ha aumentado hasta unos 200 m, alcanzando en la zona norte del canal de Ibiza casi los 400 m, con valores comprendidos entre 12.55-12.9 °C y 38.2-38.3 U.S.P. en mayo de 1987 (Fig. 8). Posteriormente, en septiembre estas aguas

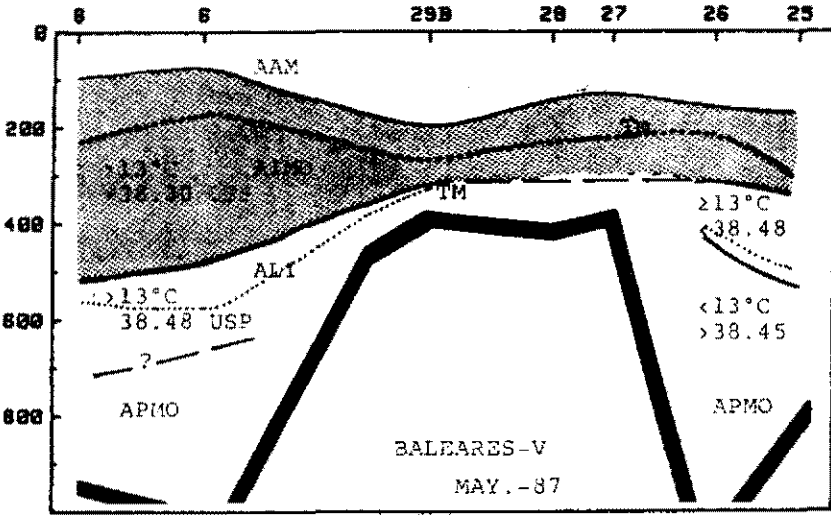


Fig. 8.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente norte de las islas, durante la campaña BALEARES V.

sufren un proceso de mezcla con las aguas subyacentes aumentando su temperatura y salinidad; la primera alcanza valores cercanos a los 13 °C, por lo que podemos considerar que desaparece de la mayoría de las estaciones al norte de las Islas, conservándose una porción de la misma al norte del canal de Ibiza con espesores de hasta unos 300 m (Fig. 9).

raturas indicativos de estas aguas en las estaciones próximas a Formentera.

Durante el año 1987 y en el área situada al sur de Ibiza, la presencia de las aguas septentrionales fue mínima en marzo, ya que sólo se la detectó en el eje de dicho canal (Fig. 10a, b). En mayo aparecen únicamente al este y en las cercanías de Formentera (Est. 15), lo cual resulta engañoso,

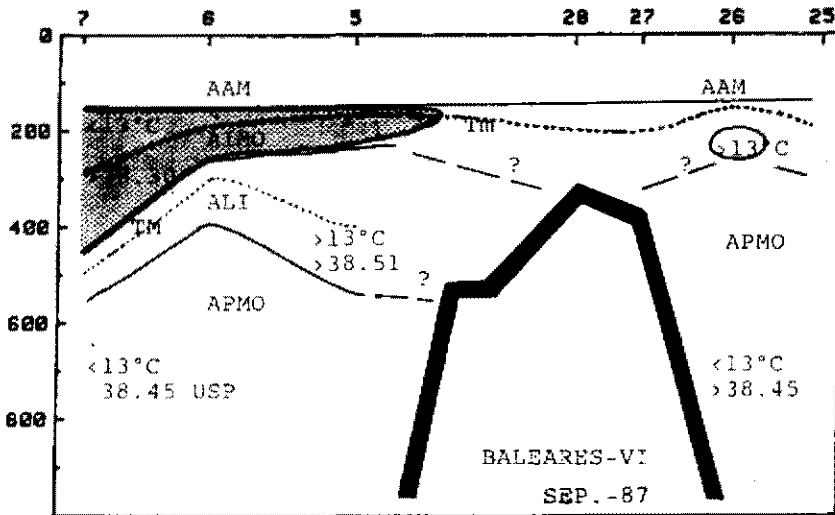


Fig. 9.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente norte de las islas, durante la campaña BALEARES VI.

A nuestro entender estas aguas fluyen hacia el sur, desde sus regiones de origen, alcanzando las Islas y rebasándolas. Su paso a través del canal de Ibiza parecen hacerlo pegadas a la costa peninsular. En el canal de Mallorca se observan valores de tempe-

pues su presencia en la parte central del canal es muy importante tal como refleja la Fig. 11a, b. En septiembre de ese mismo año su presencia todavía es notoria en casi todas las estaciones, registrándola con valores de salinidad muy altos. Debido a los procesos

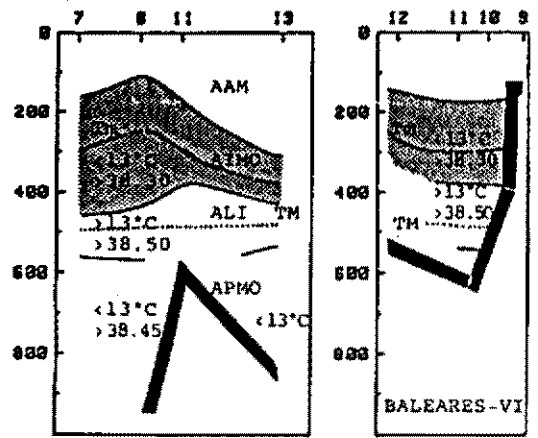
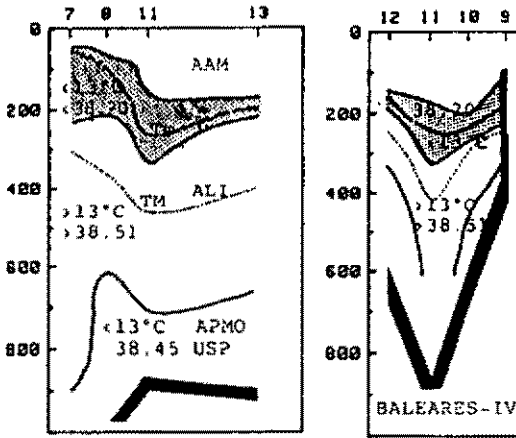


Fig. 10a, b.—Distribución vertical de las masas de agua, a lo largo y ancho del canal de Ibiza, durante la campaña BALEARES IV.

Fig. 12a, b.—Distribución vertical de las masas de agua, a lo largo y ancho del canal de Ibiza, durante la campaña BALEARES VI.

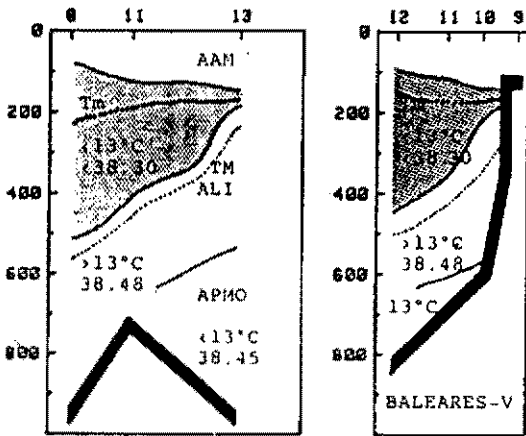


Fig. 11a, b.—Distribución vertical de las masas de agua, a lo largo y ancho del canal de Ibiza, durante la campaña BALEARES V.

de mezcla vertical con las aguas adyacentes y a la falta de una mayor densidad de datos achacable al método de muestreo (botellas), se hace difícil el limitar las distintas masas de agua en la estación 16 (Fig. 13).

En campañas posteriores y en esta misma área, en abril de 1988, vuelven a registrarse (AIMO) en el eje del canal, mientras que al este de Formentera se observa una capa entre 175 y 250 m de profundidad, con temperaturas comprendidas entre 12.93 °C y 12.99 °C y salinidades ligeramente inferiores a 38.35 U.S.P., que más que agua septentrional reciente, parecen restos de la del

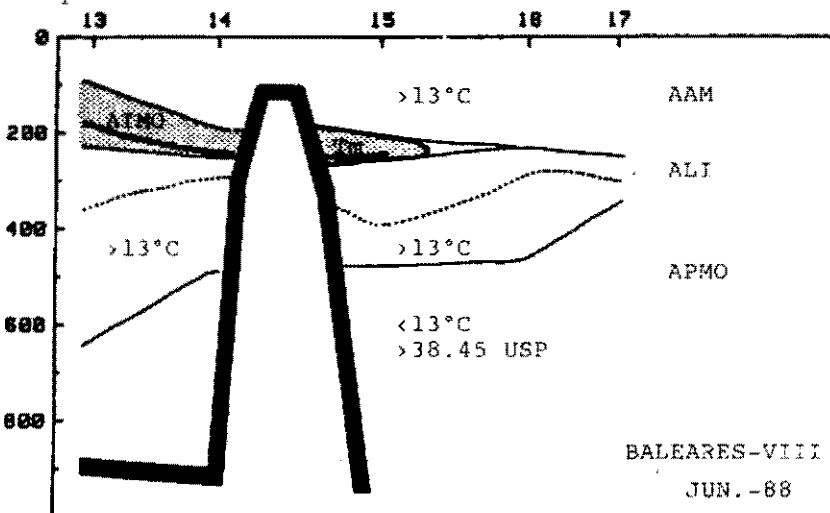


Fig. 13.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente sur de las islas, durante la campaña BALEARES VI.

año anterior (Fig. 14), por su elevada temperatura y salinidad y por la profundidad de la misma, poco usual para esa masa de agua en esas fechas y al descartar en un principio otra procedencia. En junio de 1988 esos

cercanas a la costa africana (Pistek, Perkins, 1988). Debido a los movimientos advectivos (desplazamiento hacia el sur) y a los procesos de mezcla, se supone que la presencia del agua Septentrional disminuye en otoño

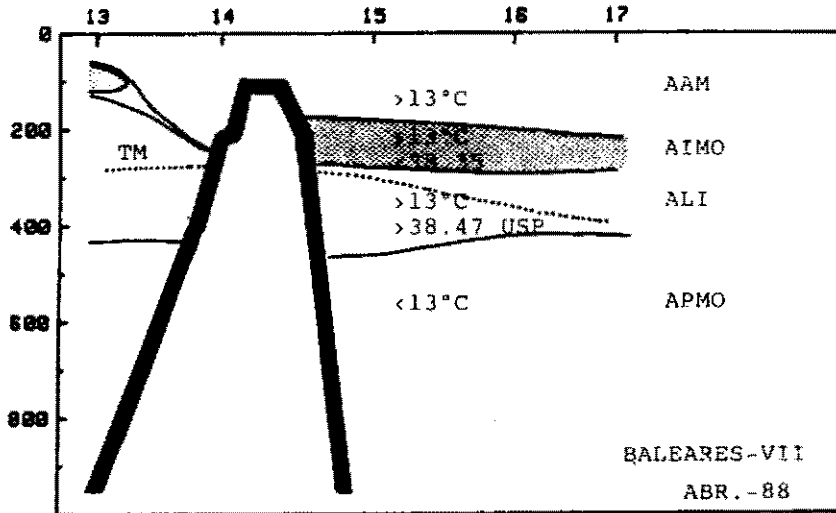


Fig. 14.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente sur de las islas, durante la campaña BALEARES VII.

mínimos de temperatura, inferiores a 13 °C, ocupan el eje del canal y este de Formentera (Fig. 15).

Una vez que estas aguas rebasan las islas, se distribuyen independientemente de la topografía; así, se tienen referencias de las mismas en la cuenca Argelina (Katz, 1972), al sur de Cabrera (Deyá, 1976) y de áreas

y principio de invierno, comenzando a partir de aquí un nuevo ciclo.

Agua Levantina Intermedia (ALI)

A lo largo de las distintas campañas y a una profundidad de 200 a 400 m, en la ma-

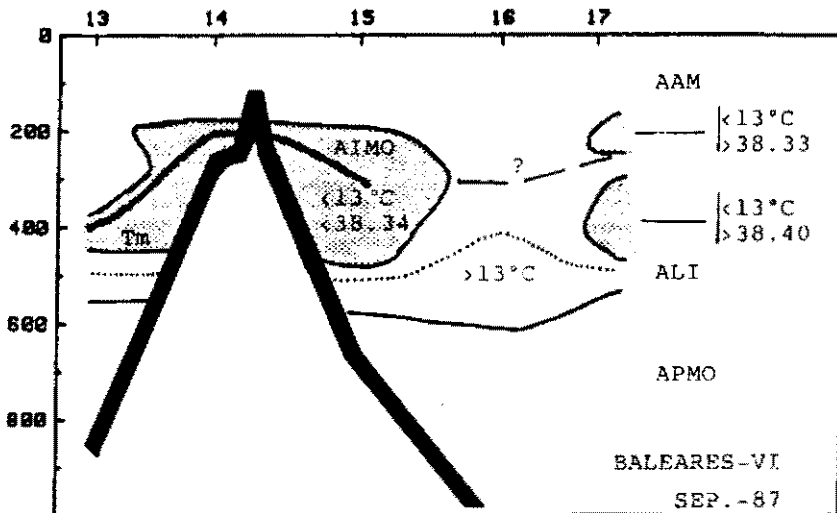


Fig. 15.—Distribución vertical de las masas de agua, en la vertiente sur de las islas, durante la campaña BALEARES VIII.

yoría de las estaciones y hasta unos 600 m en el canal de Ibiza, encontramos esta agua Levantina (ALI), caracterizada por máximos de temperatura y salinidad a esas profundidades. Su llegada a las islas se produce a través de las dos vías antes mencionadas en la introducción de este escrito.

Los valores registrados durante la campaña B-IV, en marzo-87 ponen de manifiesto la presencia de esta agua con un grosor de 250 a 300 m en el perfil norte y en la parte meridional de las islas, mientras que en la zona del canal de Ibiza el grosor es superior a los 400 m. Los valores de temperatura alcanzan los 13.2 °C y las salinidades están por encima de 38.51 U.S.P. en la zona del canal de Ibiza y alrededor de 38.5 U.S.P. en el resto. Estos valores de salinidad son los más altos entre los registrados a lo largo de este grupo de campañas (Figs. 10a y 10b).

En mayo-87, su presencia (ALI) se detecta claramente por medio de las temperaturas, mientras que en salinidades encontramos los valores más bajos dentro de los máximos registrados durante el año, en el canal de Ibiza ($T = 13.1$ °C y $S = 38.48$ U.S.P.) y al noroeste de las islas ($T = 13.1$ °C y $S = 38.46$ U.S.P.), en algunas estaciones no podemos delimitar las distintas masas de agua por carecer de datos (Figs. 11a, 11b). En la parte meridional del archipiélago estos parámetros alcanzan valores más altos ($T = 13.1$ °C y $S = 38.51$ U.S.P.). El grosor de la capa, en el canal de Ibiza, es de unos 250 m, mientras que los datos registrados en el canal de Mallorca no manifiestan con claridad las características de estas aguas. Donde sí se observa su presencia es al sur de Menorca, con valores parecidos a los del sur de Ibiza y Mallorca.

A finales de verano, en septiembre del 87 (campaña B-VI), registramos un aumento significativo de los valores de salinidad, aunque los límites de esta masa de agua no pueden precisarse claramente debido a procesos de mezcla con las aguas subyacentes (Katz, 1972). Así se observan máximos de temperatura que no sobrepasan los 13.1 °C, lo que parece indicar que la mezcla afecta a toda la capa, cuyo espesor, en este momento en el canal de Ibiza, es de unos 100 m, acercándose a los 38.5 U.S.P. (Fig. 12a). En cambio, en la parte norte del canal de Mallorca su potencia es de unos 250 a 300 m,

alcanzando valores de temperatura y salinidad ($T = 13.1$ °C y $S = 38.51$ U.S.P.) que se corresponden con los encontrados en la zona este de la Isla de Formentera y parte central y sur del canal de Mallorca con espesores similares (250-300 m). Esto parece indicar una circulación de estas aguas a través de dicho canal (Fig. 9), tal como indican Ovchinnikov (1966) y Font (1986). En el resto de las áreas, exceptuando el sur de Menorca, no se registra su presencia.

En líneas generales vemos que en las estaciones meridionales en las que el agua Septentrional se manifiesta con menor potencia, el agua Levantina aparece en estratos menos profundos y con mayor espesor, pudiendo alcanzar hasta los 450 ó 600 m de profundidad.

Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (APMO)

Por debajo del Agua Levantina Intermedia y cubriendo el fondo marino, encontramos el Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (APMO), cuyo límite superior, en general, se halla entre los 450 a 500 m de profundidad.

Los valores medios observados difieren poco entre campañas: en marzo de 1987 se registraron $T < 13$ °C y $S = 38.45$ U.S.P., en mayo de 1987 $T < 13$ °C y $S = 38.455$ U.S.P., mientras que en septiembre de 1987 teníamos $T < 13$ °C y $S = 38.453$ U.S.P. Como se ve, el valor más alto corresponde al mes de mayo, diferenciándose muy poco del de septiembre, momento en el que sus límites son imprecisos, debido a las mezclas antes citadas.

En ciertos momentos del año y en ausencia de las aguas Septentrionales, puede darse el caso de hallarse en contacto la masa de agua Atlántica Modificada (AAM) con la profunda (APMO), sin que ello excluya la presencia de algún lentejón de agua Levantina (Fig. 9).

Diagramas T/S

La figura 16 muestra los diagramas T/S, de distintas estaciones, en tres períodos dis-

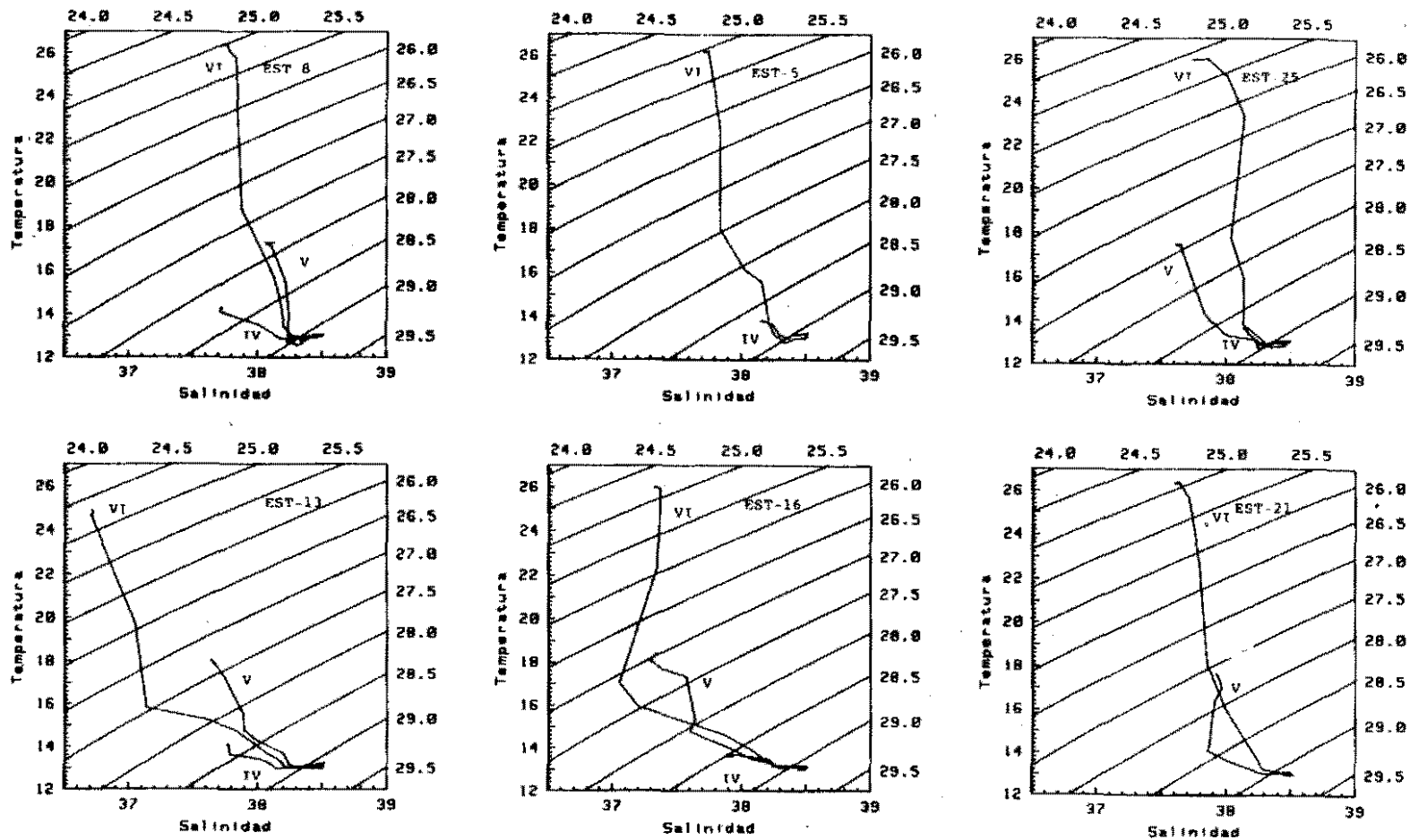


Fig. 16.—Evolución del diagrama T/S, representando la totalidad de estaciones de esas campañas.

tintos de un mismo año, en los que las estaciones 5, 8, 25 corresponden a puntos situados en la parte norte de los canales entre islas, y las estaciones 13, 16, 21 están en la parte sur de esos mismos canales.

La figura 17 muestra los diagramas T/S de la totalidad de estaciones de una misma campaña, en donde las tres campañas efectuadas durante tres estaciones meteorológicas distintas (invierno, primavera y verano) están claramente diferenciadas, pasando de la cuasi-homotermia invernal hasta la estra-

tificación del verano. La campaña de invierno es la B-IV, la de primavera es la B-V y la de verano es la B-VI.

En ambos grupos de gráficas (Figs. 16 y 17) se puede apreciar la presencia de las distintas masas de agua y la evolución de la temperatura y salinidad.

Así, en las gráficas correspondientes a la campaña de verano (septiembre) se aprecia una clara influencia de agua de origen atlántico, sobre todo en las estaciones más meridionales, dando lugar a registros de sa-

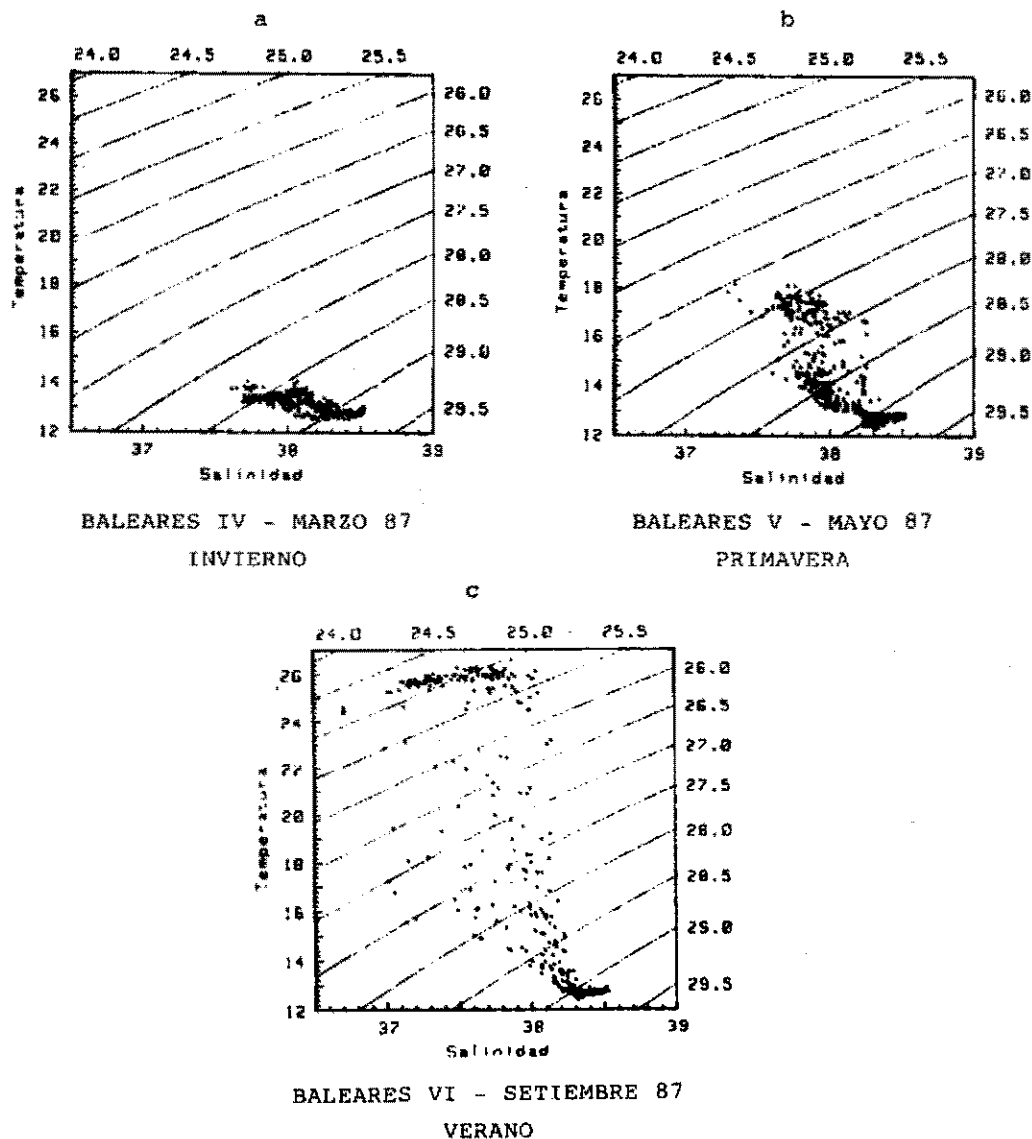


Fig. 17.—Diagramas T/S, correspondientes a estaciones al norte y sur de los canales de Ibiza (a, d), Mallorca (b, e) y Menorca (c, f) en marzo (B-IV), mayo (B-V) y septiembre (B-VI).

linidad inferiores a 37.5 U.S.P. y hasta una profundidad de 50 m e incluso a valores inferiores a 37 U.S.P.

En primavera (mayo) esta influencia es menor, estando por encima de 37.5 U.S.P. en la casi totalidad de los valores superficiales. En este momento al norte del canal de Ibiza se registran los valores más altos de salinidad en superficie (alrededor de 38.1 U.S.P.). En invierno casi todos los valores están por encima de 37.7 U.S.P., siendo las estaciones más septentrionales, norte del canal de Mallorca y Menorca, las de valores más altos ($S \sim 38$ U.S.P.).

Donde mejor se distingue el AIMO es en la estación norte del canal de Ibiza (Figura 16a), tanto en la campaña de marzo como en la de mayo, sobre todo en esta última y corresponde a valores de temperatura inferiores a los 13°C y de salinidad comprendidos entre $38.15 < S < 38.35$ U.S.P. En la gráfica de invierno (marzo) no se distingue tan claramente como en la gráfica de mayo (Fig. 17).

En las gráficas aquí presentadas se puede observar la presencia o influencia del ALI mediante las conocidas colas de escorpión, que aparecen a ambos lados de los canales, en marzo su presencia es más clara. El hecho de que estos datos hayan sido obtenidos con botellas NISKIN (medidas puntuales a profundidades estándar) y no con CTD, hacen perder mucha información, des-

dibujando en muchos casos los contornos de estas gráficas en sus metros finales.

Variabilidad estacional e inter-anual

Las gráficas correspondientes a las figuras 18 y 19 representan las temperaturas y salinidades máximas dentro de la masa de agua Levantina (ALI), junto con las temperaturas mínimas dentro de la Septentrional (AIMO), en cada campaña y su evolución a lo largo del año correspondiente.

De la evolución de estas curvas se desprende un comportamiento estacional. En ellas se puede apreciar que las características del ALI son nítidas durante los meses de invierno para desdibujarse en primavera-verano (período en el que llegan aguas que pudieron verse afectadas por los procesos de formación de APMO), recuperándose en el otoño tardío (Font, 1988). Mientras que el AIMO aparece en estas islas al poco tiempo de iniciado su período de formación, febrero-marzo, obteniéndose sus valores más significativos en mayo-junio, para ir desapareciendo paulatinamente durante el otoño.

Por otra parte, se han observado espesores de las distintas masas de agua muy diferentes a lo largo del año, e incluso muy variables de un año a otro. Así, el agua Septentrional (AIMO) en el momento de su máxima presencia (mayo-junio) muestra po-

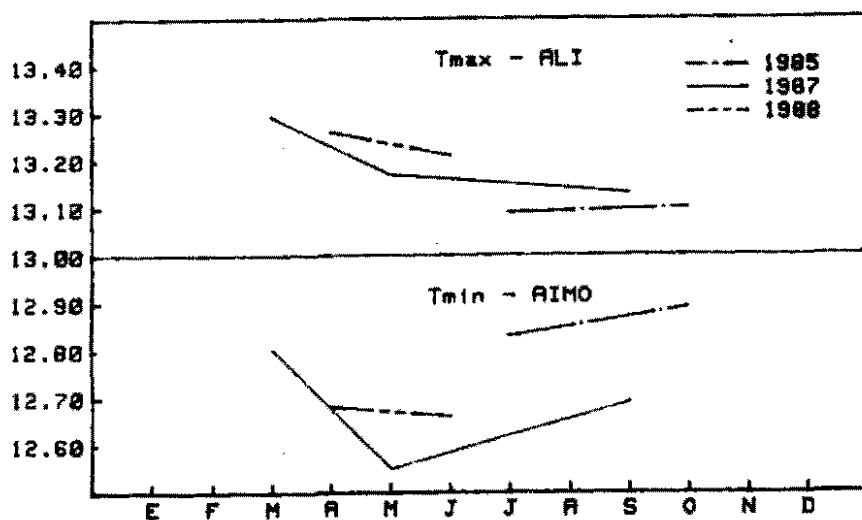


Fig. 18.—Evolución de las temperaturas máximas y mínimas del agua Levantina (ALI) y Septentrional (AIMO), respectivamente, en las distintas campañas.

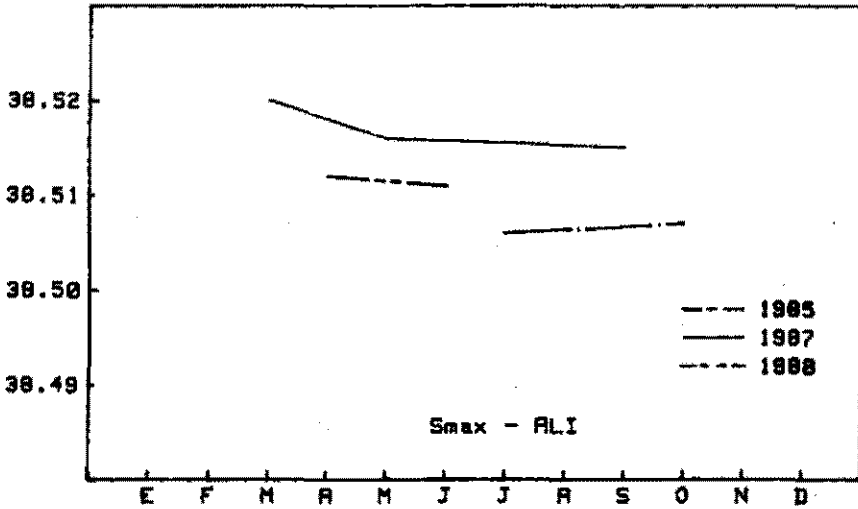


Fig. 19.—Evolución de las salinidades máximas del agua Levantina (ALI), en las distintas campañas.

tencias de hasta 400 m en el canal de Ibiza en 1987; en cambio, en 1985 fueron 200 m y en 1988 apenas se alcanzaron los 150 m. Se da la circunstancia que el invierno de 1988 se puede considerar como muy suave, lo cual en un principio daría lugar a una menor formación de dicha agua como parece haber sucedido.

Por contra, el agua Levantina (ALI) parece haber tenido una presencia mayor durante el 88 que durante el 87 y 85. En este caso los inviernos bonancibles favorecerían tal presencia, al generar menos procesos

convectivos, de formación de agua Profunda, afectando a un volumen menor de esta agua.

En la figura 20 y Tabla II se exponen las salinidades medias globales de la columna de agua de cada campaña, diferenciando las estaciones que se encuentran en las zonas norte de los canales e islas (vertiente norte) y en la sur. Para calcularlas hemos utilizado únicamente aquellas estaciones muestreadas en fondos superiores a los 100 m. El dato correspondiente a noviembre (B-III), en la vertiente norte, está calculado únicamente

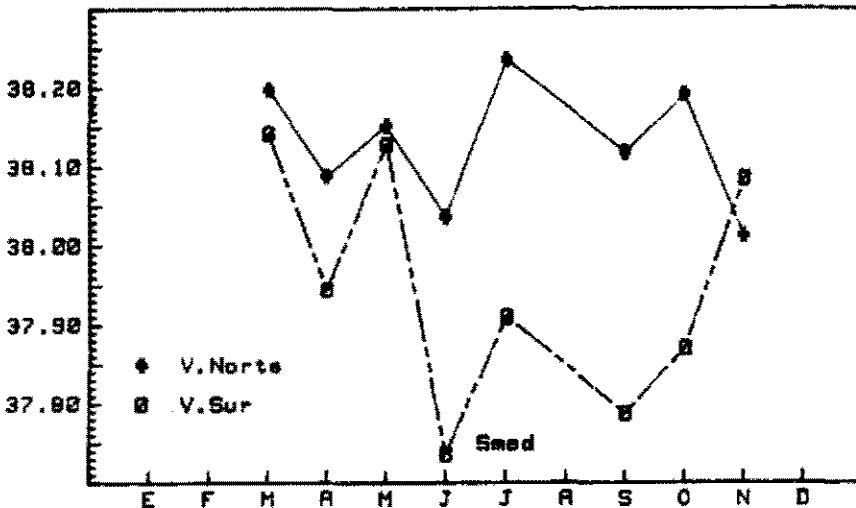


Fig. 20.—Evolución de la salinidad media, a lo largo de las distintas campañas, diferenciando las vertientes norte y sur de las islas.

con tres estaciones, por lo que no es muy significativo. Como se observa en la gráfica, las salinidades medias en la vertiente norte son superiores a las de la vertiente sur. La formación del APMO, la aparición del AIMO, su desplazamiento hacia el sur, son procesos que afectan a la circulación y al espesor del agua ALL. A su vez en superficie, en gran parte de esa cuenca, se tiene un agua algo más salina (AAM > 38 U.S.P.), pudiendo todo ello explicar la tendencia observada de mayores salinidades en invierno, disminución en verano y recuperación a finales de otoño en la cuenca norte. Mientras que la llegada de AA y la irrupción del AIMO, principalmente en primavera-verano, interfieren (mezclas) con el ALI presente en la cuenca sur en las mismas fechas, lo cual podríamos explicar esa misma tendencia en esa cuenca.

TABLA II.—Salinidades medias en las campañas.

	<i>Vertiente norte</i>	<i>Vertiente sur</i>
1985	38 214	37 891
1986	38 013	38 084
1987	38 153	38 041
1988	38 092	38 944

4. CONCLUSIONES

Las ocho campañas realizadas entre 1985-88 nos han proporcionado una importante información hidrográfica sobre el Mediterráneo Occidental y en particular del área de las Islas Baleares. A partir de la cual y de los conocimientos previos de esta área, podemos hacernos una idea de la dinámica de las masas de agua y de sus pautas de comportamiento estacionales e interanuales.

La trayectoria de las distintas masas de agua está bien descrita en trabajos previos expuestos anteriormente, lo cual hemos podido comprobar. A partir de esta información estudiamos con detalle la circulación

en los canales de Ibiza y Mallorca y cuáles son las causas que la determinan, llegando a las siguientes conclusiones:

— El agua de origen Atlántico llega hasta las islas a través de los giros anticiclónicos originados por la corriente Argelina, afectando principalmente al área sur del archipiélago, e incluso atraviesa los canales entre islas. Los valores más nítidos de esta agua los hemos registrado en primavera-verano.

— El hecho de que la cuenca Argelina hasta su límite septentrional, el denominado frente balear, actúe de zona de acumulación (o BUFFER) del agua de origen Atlántico, unido a la circulación discontinua del ALI, constituye una de las causas determinantes de que su salinidad media sea inferior a la de la cuenca norte.

— El agua Septentrional (AIMO) aparece progresivamente en las islas a partir de invierno. El punto culminante de su presencia lo alcanza en mayo-junio, momento en el cual puede llegar a alcanzar espesores de hasta 400 m en el canal de Ibiza. Posteriormente decrece hasta desaparecer en la mayoría de las estaciones (otoño tardío).

— Cuando el agua Septentrional (AIMO) entra en la cuenca Argelina se extiende por ella sujeta en parte a la circulación general, que fluye hacia el mar de Alborán, pegada a la costa peninsular y en parte afectada por los giros ciclónicos y anticiclónicos de la corriente Argelina, lo cual hace que aparezca en puntos tan distantes como el sur de Cabrera o cerca de la costa Africana, interfiriendo con la ALI presente en esta área.

— El agua Levantina (ALI) llega a nuestras costas a través de las dos vías antes mencionadas. El agua que viene por la ruta norte atraviesa el canal de Ibiza y cuando la presencia de AIMO es importante en la parte norte de dicho canal, dificultando su circulación por el mismo, lo hace en parte por el canal de Mallorca.

— El agua Profunda (APMO) es la que mantiene los valores más estables a lo largo de todas las campañas. En verano y otoño parece mostrarse más activa dando lugar a procesos de mezcla. Por esta circunstancia y por falta de datos no podemos determinar con exactitud sus límites y las variaciones anuales de los mismos.

— Hemos observado variaciones estacionales e inter-anales tanto en el valor de la

temperatura y salinidad, como en el espesor de las capas y en las salinidades medias. Variaciones, las primeras, explicadas a través del ciclo anual climatológico que origina la formación del APMO y AIMO, y las segundas, como fluctuaciones climatológicas en las regiones de formación de las aguas tipo, las cuales pueden afectar al Mediterráneo Occidental o al Oriental, o a ambos a la vez, dando lugar a la entrada y formación de distintas cantidades de las masas de agua AA, ALI, AIMO o APMO.

— Los valores medios anuales de salinidad, calculados a partir de estas campañas, ponen de manifiesto diferencias notables de un año a otro, con lo que parece clara la tendencia a disminuir desde 1985 hasta 1988 (Tabla II), quedando por estudiar cuál es la causa de ésta. En un principio parece ser la climatología, aunque el mecanismo causante posiblemente sea más complejo.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAIN, C. 1960. Topographie dynamique et courants generaux dans le basin occidentale de la Méditerranée. *Revue de travaux de L'Institut de Pêches Maritimes*, 24, 121-145.
- DEYÁ SERRA, M. M. 1978. Datos sobre la distribución del oxígeno disuelto y nutrientes en aguas próximas a la isla de Mallorca. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, n.º 246, vol. 4(1): 163-175.
- FONT, J. 1987. The path of the Levantine Intermediate Water to the Alboran Sea. *Deep Sea Research*, vol. 34: 1745-1755.
- FONT, J. 1987. Evidence of the LIW flow through Ibiza channel. *XXX Congrés Assemblee Plenièrre du CIESM*.
- KATZ, E. J. 1972. The Levantine Intermediate Water between the strait of Sicily and the strait of Gibraltar. *Deep Sea Research*, vol. 19: 507-520.
- LA VIOLETTE, P.; J. TINTORE, and J. FONT. 1988. The surface circulation of the Balearic Sea. (*Working draft*).
- MILLOT, C. 1985. Some features of the Algerian current. *Journal of Geophysical Research*, vol. 90: 7169-7176.
- MILLOT, C. 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, vol. 10 (2).
- NIELSEN, J. N. 1912. Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. *Rapp. Dan. Oceanogr. Exped. Méditerr.*, vol. 1: 77-192.
- OVCHINNIKOV, I. M. 1966. Circulation on the surface and intermediate layers of the Mediterranean. *Oceanologica Acta* 6: 48-59.
- PARRILLA, G., y T. H. KINDER. 1987. Oceanografía física del mar de Alborán. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 4(1): 133-165.
- PISTEK, P., and H. PERKINS. 1987. Circulation of the water masses of the Western Mediterranean during June 1986. *West Med. Circulation Experiment, Newsletter* 9: 69-71.
- SALAT, J., et A. CRUZADO. 1981. Masses d'eau dans la Méditerranée Occidentale: Mer Catalane et eaux adjacentes. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.* 27, 6: 201-209.
- SALAT, J., and J. FONT. 1987. Water mass structure near and offshore the Catalan coast during the winters of 1982 and 1983. *Annales Geophysicae*, 5B (1): 49-54.
- TAUPIER-LETAGE, I., and C. MILLOT. 1988. Surface circulation in the Argelian Basin during 1984. *Oceanologica Acta*, n.º sp. 9: 79-85.
- TINTORE, J.; J. FONT, and J. SALAT. 1987. Permanent features in the circulation of the Catalan Sea. *Oceanologica Acta*, n.º sp. 9: 51-57.
- WUST, G. 1961. On the vertical circulation of the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 66, 3 261-3 271.

Este trabajo ha sido realizado gracias a la subvención recibida de la CAICYT & CSIC, dentro del proyecto I + D-823.

Manuscrito recibido en octubre de 1989