

VARIABILIDAD TERMICA DEL AGUA CENTRAL  
NORATLANTICA ENTRE GRAN CANARIA  
Y EL TALUD SAHARIANO. RESULTADOS PRELIMINARES

E. Pérez-Martell\*  
O. Llinás\*\*  
R. Onken\*\*\*  
W. Zenk\*\*\*

- \* Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- \*\* Instituto Canario de Ciencias Marinas.
- \*\*\* Institut für Meereskunde, Universität Kiel.

## RESUMEN

Se presenta en este trabajo un análisis preliminar de la variabilidad estacional de la estructura térmica observada entre las islas Canarias y el talud sahariano.

En esa región, desde febrero de 1988 a diciembre de 1989, se ha realizado con periodicidad mensual una sección meridional de XBT (expendable bathythermograph) aprovechando la estancia en el área del B/H Esperanza del Mar.

La variación temporal de la estructura térmica muestra diferencias en las estaciones más al Norte respecto de las estaciones hacia el Sur, especialmente en lo que se refiere al calentamiento/enfriamiento del agua de los 100 primeros metros. La representación gráfica de la isoterma de 15°C muestra en ambos años un desplazamiento de ésta desde el Norte hacia el Sur a una velocidad media de 1cm/s.

## ABSTRACT

The aim of this work is to present a preliminar analysis of the seasonal variability of thermal structure between the Canary Islands and the continental slope of Northwest Africa.

From February 1988 to December 1989 we launched XBT (expendable bathythermograph) probes from a ship of opportunity (Hospital Ship Esperanza del Mar) on a meridional section between 27° 35' N at a horizontal resolution of 10 nautical miles in monthly intervals.

The temporal evolution of the thermal structure shows some differences between the northern and southernmost positions of

the section: there is clear evidence of warming/cooling of sea water in the upper 100 m. The figures show the 15°C isotherm depth travelling North to South, at an average speed of 1 cm/s, during both years.

## INTRODUCCION

La zona del Atlántico Centro Oriental cercana al Noroeste de Africa donde se desarrolla el trabajo, es una región que ha atraído la atención de los científicos por la importancia que tienen desde el punto de vista oceanográfico y por sus implicaciones pesqueras, determinados fenómenos que en ella ocurren (afloramientos, corrientes limítrofes, ...).

El sistema de circulación en los principales océanos presenta en su margen oriental un sistema de corrientes poco profundas, extensas y débiles, que transportan superficialmente aguas frías desde las latitudes más al Norte hacia las latitudes Sur. Con frecuencia, y tal como ocurre en el presente caso, este sistema de circulación de las aguas superficiales esta relacionado con la presencia de vientos que la favorecen en algunas estaciones del año o también permanentemente (Wooster *et al.* 1976; Mittelstaedt, 1983).

Asociado a estas corrientes limítrofes en latitudes subtropicales, existe un fenómeno de gran importancia como es la aparición en superficie de aguas frías provenientes de zonas profundas como consecuencia del transporte de Ekman originado por el viento, fenómeno que es conocido con el nombre de “upwelling” o afloramiento costero. Así pues, las aguas superficiales frías transportadas por las corrientes en las fronteras se ven intensificadas por la presencia del “upwelling”.

En el área del Atlántico cercana al NW africano, la corriente limítrofe que existe es la Corriente de Canarias. Dentro del sistema formado por el giro subtropical en esas latitudes, la Corriente de Canarias se origina al confluir la Corriente de Azores y la de Portugal en las proximidades de Madeira (Siedler *et al.*, 1985; Käse *et al.*, 1986; Zenk *et al.*, 1986).

La corriente tiene dirección Sur-Suroeste, presentando cambios estacionales a su paso por las islas (Stramma and Siedler, 1988), se orienta prácticamente paralela a la plataforma continental africana (Maillard and Käse, 1989) y en las cercanías de Cabo Blanco se aleja de la costa (Stramma, 1984; Barton 1987) experimentando variaciones espaciales y temporales, dirigiéndose finalmente hacia el Oeste donde forma posteriormente la Corriente Norecuatorial (Emery *et al.*, 1987).

El complejo sistema de circulación que se presenta en la región del Noroeste africano (Hagen, 1981), incluye el "upwelling" costero que se origina por la presencia de los vientos alisios provenientes del Norte, durante prácticamente todo el año, aunque presentando cambios estacionales en algunas zonas de la región (Mittelstaedt, 1983). Entre los 20°N y 25°N, el afloramiento está presente permanentemente durante todo el año pero intensificado en primavera y otoño. Al sur de los 20°N el "upwelling" se presenta en invierno, mientras que al Norte de los 25° de latitud es en los meses de verano cuando se produce tal fenómeno (Wooster *et al.*, 1976; Speth *et al.*, 1978; Mittelstaedt, 1983). Esta situación coincide, en ambos casos, con la intensificación estacional de los alisios. Durante los meses de enero, febrero el sistema de vientos alisios llega hasta los 10°N, aproximadamente, en la zona cercana al continente, para irse desplazando hacia el Norte en primavera y alcanzando en los meses de julio, agosto las latitudes de 30°N (Wooster *et al.*, 1976; Mittelstaedt, 1983).

El área del NW africano que se estudia en el presente trabajo (fig. 1) está incluida dentro de la franja del afloramiento costero en los meses de verano. La circulación superficial dirigida hacia el Ecuador y paralela a la costa es constatable en el área, existiendo referencias en la bibliografía de una corriente subsuperficial que en algunas zonas del upwelling está orientada hacia el Polo (Barton, 1989). Así Johnson *et al.* (1975), indican que hacia los 400 m. sobre el talud, existe una corriente dirigida hacia el Polo en las cercanías de Cabo Bojador (26° 10'N, 14° 30'W). También existen referencias de esto más hacia el Sur, en las cercanías de Cabo Blanco (Mittelstaedt *et al.*, 1973; Hughes and Barton, 1974) y en latitudes más al Norte, en 32° N (Mittelstaedt, 1989). Aunque son varios los autores que han indicado la presencia de esta corriente, no se tiene información suficiente acerca de su variabilidad temporal para lo que es preciso disponer de series temporales de datos durante períodos considerablemente grandes.

## MATERIAL Y METODOS

El buque hospital "Esperanza del Mar", perteneciente al Instituto Social de la Marina, opera regularmente en el área del Noroeste de Africa, teniendo como base el Puerto de la Luz de Las Palmas de Gran Canaria desde donde recorre la zona hasta los 20° N, aproximadamente, durante un período de 25 días al mes. Aprovechando la oportunidad que ofrece esta salida mensual, se ha instalado en el barco un equipo para el

lanzamiento de sondas desechables XBT (expendable bathythermograph) en diez estaciones fijas, coincidentes con las primeras horas de navegación y según un proyecto de colaboración entre el Instituto Canario de Ciencias Marinas del Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y el Institut für Meereskunde de la Universidad de Kiel (Alemania).

La utilización de estos batitermógrafos desechables ha ayudado considerablemente al conocimiento de la distribución térmica de los océanos, debido en parte a la facilidad que tienen para utilizarse en barcos de oportunidad, por lo que se han convertido en una herramienta muy importante en la Oceanografía.

Las sondas desechables que se han utilizado son las suministradas por la casa Sippican Corporation de los tipos T4 y T7, que permiten conocer el perfil de temperatura hasta aproximadamente los 450 m y 750 m de profundidad respectivamente (Heinmiller *et al.*, 1983; Green, 1984).

La unidad de cubierta para el lanzamiento de las sondas que se ha instalado en el B/H Esperanza del Mar ha sido desarrollada en el Institut für Meereskunde de la Universidad de Kiel. Dicha unidad está conectada a un ordenador de la casa comercial Commodore, modelo 8296. La característica fundamental de la unidad de control está en la interfase instalada en el ordenador y controlada por comandos del software de éste. La interfase convierte la medida de la resistencia hecha por el termistor en un registro digital de temperatura y sus características particulares están descritas por Emery *et al.* (1986). La relación para la conversión de la temperatura a partir de la resistencia responde a una relación logarítmica (Emery *et al.*, 1986). En el sistema descrito la profundidad se calcula por la relación que da el fabricante (Sippican, 1970). La precisión en la temperatura depende del tipo de sonda así como del sistema utilizado. Para el dispositivo descrito y a partir de comparaciones entre perfiles de temperatura obtenidos por éste y por medio de CTD, en numerosas estaciones oceanográficas, se da un valor de 0.08°C utilizando sondas T7 (Emery *et al.*, 1986), inferior al dado por el fabricante (Sippican, sin fecha) y a los de otros autores con sistemas diferentes (Georgi *et al.*, 1980; Heinmiller *et al.*, 1983).

Los datos que se presentan en el trabajo corresponden a los lanzamientos mensuales de las sondas XBT desde febrero de 1988 hasta diciembre de 1989, en las diez posiciones separadas 10 millas náuticas una de otra, que se indican en la Tabla 1 así como en la figura 1. Los diez lanzamientos se realizan durante un intervalo total de 10 horas, comenzando a la salida del puerto base, excepto en diciembre de 1989 en que se lanzaron en el viaje de salida y en el de regreso.

El número total de lanzamientos realizados durante el período citado fue de 198. En octubre de ambos años no se dispone de datos porque el barco no operó en esos meses debido a la parada biológica, al igual que ocurrió en las ocho últimas estaciones de marzo de 1989 y las cuatro últimas de diciembre del mismo año, que no se realizaron por problemas de logística derivados del trabajo del barco hospital en el área. El número de sondas del tipo T7 fue de 159 frente a 39 del tipo T4. De la serie de perfiles de temperatura, 164 se consideraron válidos (82.83%), mientras que en 34 ocasiones (17.17%) se desecharon por diversos fallos en el sistema. En estas estaciones no se repitió el lanzamiento por lo que en algunos meses existe una separación espacial en la distribución de temperaturas. En las figuras que acompañan el trabajo se han señalado con un punto aquellas estaciones de las que se dispone de información. En la figura 2 se presentan las frecuencias de lanzamientos válidos para cada una de las diez estaciones de la sección.

Esta sección longitudinal de la que se presentan unos resultados preliminares, está prevista que continúe al menos en 1991. Dentro de las perspectivas de futuro existe la posibilidad que se incluya como una sección hidrográfica permanente dentro del programa internacional del WOCE (World Ocean Circulation Experiment), en particular dentro del apartado de Eastern Boundary Current. A partir de la base de datos multianual se podrán estudiar las variaciones espaciales de la Corriente de Canarias así como el transporte de masa y de calor producidos por la corriente y sus variaciones.

## RESULTADOS

En la figura 3 se representa la evolución temporal, desde febrero de 1988 hasta diciembre de 1989, de la estructura térmica hasta los 700 m de profundidad para la primera posición de los XBT, localizado en 27° 35' N. Igualmente para la posición más al Sur de la sección longitudinal (26° 05' N). Dado que esta estación es menos profunda por estar localizada sobre el talud, se representa la distribución térmica en los 500 m.

En la primera de estas gráficas (fig. 3) se observa en la capa superficial (100 m), el calentamiento normal de los meses de verano que alcanza hasta el mes de noviembre, acompañado de la presencia de una termoclina estacional. En invierno, el enfriamiento de la capa superficial resulta evidente así como el mayor grosor de la capa de mezcla que alcanza profundidades de hasta 150 m aproximadamente.

Para la estación 10 de lanzamiento de los XBT ( $26^{\circ} 05' N$ ), la distribución térmica durante el período señalado (fig. 4) muestra ciertas diferencias respecto de la anterior en la capa superficial. Durante los meses de verano se observa un calentamiento menor en esta posición así como un enfriamiento menor de la capa de superficie en los meses de diciembre de 1988 y enero de 1989.

Para profundidades superiores a los 100 m y hasta los 400/500 m, se observa en ambas gráficas la distribución de las isotermas para los períodos de verano e invierno, presentándose asimismo pequeñas diferencias de un año respecto de otro. En general las isotermas se inclinan hacia el Sur en los meses de invierno, mientras que en verano la inclinación es menos acusada.

La distribución de la temperatura a una profundidad de 10 m durante el período completo en la sección longitudinal sobre la que se ha trabajado se muestra en la figura 5. En ella se refleja la estacionalidad de esta capa subsuperficial. Las temperaturas más bajas se producen en los meses de febrero y marzo ( $18^{\circ}C$  aproximadamente) y los valores más altos corresponden al calentamiento del verano que en estas latitudes alcanza los  $22.5^{\circ}C$  en septiembre y octubre para continuar decreciendo posteriormente. En los meses de julio y agosto del primer año, se observa una variación en la distribución de la temperatura en los 10 m a lo largo de la sección. Entre los lanzamientos correspondientes a las posiciones de  $27^{\circ} 15' N$  y  $26^{\circ} 45' N$  inclusive (números de XBT 3 y 6 respectivamente), se señala una disminución de la temperatura del orden de  $0.8^{\circ}C$  en el primer mes y de  $0.6^{\circ}C$  en el siguiente, coincidiendo con la época en que el afloramiento costero alcanza su máximo desarrollo. En cambio, en 1989, durante los mismos meses y para las mismas posiciones de los XBT, el rango de variación de la temperatura a esa profundidad es sólo de  $0.4-0.3^{\circ}C$ .

Finalmente, presentamos en la figura 6 la distribución en profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}C$  durante el período descrito. La característica más relevante en ambos años está en el desplazamiento hacia el Sur, desde febrero hasta julio con una velocidad media de 1 cm/s. Este desplazamiento está menos señalado en 1989 que en el año anterior.

Concluimos este estudio preliminar de la sección meridional de estaciones de XBT incidiendo en la estacionalidad de la serie estudiada. En las estaciones más al Norte, la distribución térmica a lo largo del año responde a la estacionalidad esperada, en cambio, en las estaciones situadas más al Sur, localizadas sobre el talud sahariano, la variabilidad puede estar afectada por afloramientos o por efectos topográficos. En general en la capa superficial la estacionalidad se presenta durante el

período completo, mientras que en la capa inferior no ocurre así, existiendo variaciones de un año a otro. Las variaciones interanuales no pueden ser interpretadas adecuadamente hasta que la serie contenga un número suficiente de años para ello. Por tanto y dado que el programa de lanzamiento de las sondas XBT continúa en la actualidad y tal como se dijo anteriormente es previsible que continúe en un plazo superior, será entonces cuando se podrán obtener conclusiones más amplias de la distribución térmica en esta zona del Noroeste africano.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo expresan su agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron en la obtención y elaboración de los datos, especialmente a A. Alamo, J. Betancor y M. Medina, así como al Instituto Social de la Marina y al capitán y tripulación del Barco Hospital Esperanza del Mar.

## BIBLIOGRAFIA

- BARTON, E. D. 1987: Meanders, eddies, and intrusions in the thermohaline front off Northwest Africa. *Oceanol. Acta*, 10, 267-283.
- 1989: The Poleward undercurrent on the Eastern Boundary of the Eastern Boundary of the Subtropical North Atlantic. In: Poleward Flows along Eastern Ocean Boundaries. Coastal and Estuarines Studies. Eds.: S. J. Neshyba, Ch. N. K. Mooers, R. L. Smith and R. T. Barber, 34, 82-92.
- EMERY, W. J.; LEE, W.; ZENK, W. and MEINCKE, J. 1986: A Low Costal Digital System and its application to the real-time computation of Dynamic Height. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 3, 75-83.
- ZENK, W.; HUBER, K.; RUAL, P. and NOWLAU, P. 1987: Trends in Atlantic Equatorial current variability. *Deuts. Hydrogr. Z.*, 6, 261-276.
- GEORGI, D. T.; DEAN, J. P. and CHASE, J. A. 1980: Temperature Calibration of expendable bathythermographs. *Ocean Eng.*, 7, 491-499.
- GREEN, A. W. 1984: Bulk dynamics of the expendable bathythermograph (XBT). *Deep-Sea Res.*, 31, 415-426.
- HAGEN, E. 1981: Mesoscale Upwelling variations off the West African Coast. In: Coast. Upwelling, Coastal and Estuarine Sciences 1. Ed. F. A. Richards, AGU, 72-78.
- HEINMILLER, R. H.; EBBESMEYER, C. C.; TAFT, B. A.; OLSON, D. B. and NIKITIN, O. P. 1983: Systematic errors in expendable bathythermograph (XBT) profiles. *Deep-Sea Res.*, 30, 1.185-1.196.
- HUGHES, P. and BARTON, D. 1974: Stratification and Water Mass Structure in the Upwelling area off Northwest Africa in April/May 1969. *Deep-Sea Res.*, 21, 611-628.
- JOHNSON, D. R.; BARTON, E. D.; HUGHES, P. and MOOERS, C. N. K. 1975: Circulation in the Canary Current Upwelling Region off Cabo Bojador in August 1972. *Deep-Sea Res.*, 22, 547-558.

- KÄSE, R. H.; PRICE, J. F.; RICHARDSON, P. L. and ZENK, W. 1986: A Quasi-Synoptic Survey of the Thermocline Circulation and Water Mass Distribution Within the Canary Basin. *J. Geophys. Res.*, 91 (C8), 9739-9748.
- MAILLARD, C. and KÄSE, R. 1989: The near surface flow in the Subtropical Gyre South of the Azores. *J. Geophys. Res.*, 94 (C11) 16.133-16.140.
- MITTELSTAEDT, E. and KOLTERMANN, K. P. 1973: On the currents over the shelf off Cap Blanc in the Northwest African Upwelling area. *Deuts. Hydrogr. Z.*, 26, 193-215.
- 1983: The Upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to Coastal Upwelling. *Prog. Oceanog.*, 12, 307-331.
- 1989: The Subsurface Circulation along the Moroccan Slope. In: Poleward Flows along Eastern Ocean Boundaries. Coastal and Estuarine Studies. Eds: S. J. Neshyba, Ch. N. K. Mooers, R. L. Smith and R. T. Barber, 34, 96-108.
- SPETH, P.; DETLEFSEN, H. and SIERTS, H. W. 1978: Meteorological influence on Upwelling off Northwest Africa. *Deuts. Hydrogr. Z.*, 31, 95-104.
- SIEDLER, G.; ZENK, W. and EMERY, W. J. 1985: Strong currents Events related to a Subtropical Front in the Northeast Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 885-897.
- SIPPICAN CORP. (undated): XBT systems specification sheet 74-1, Marion, MA.
- 1970: *Ocean Eng. Bull.*, 1.
- STRAMMA, L. 1984: Geostrophic Transport in the Warm Water Sphere of the Eastern Subtropical North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 42, 537-558.
- and SIEDLER, G. 1988: Seasonal changes in the North Atlantic Subtropical Gyre. *J. Geophys. Res.*, 93 (C7), 8.111-8.118.
- WOOSTER, W. S.; BAKUN, A. and McLAIN, D. R. 1976: The seasonal Upwelling Cycle along the Eastern Boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 34, 131-141.
- ZENK, W.; FINKE, M.; MÜLLER, T. J. and LLINAS, O. 1986: The role of the Canary Current in the Subtropical Atlantic Gyre Circulation. *Terra Cognita*, 6, N3, 375.

TABLA 1

*Posiciones de las diez estaciones de XBT  
sobre la sección longitudinal de 15° 15' W*

XBT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LAT	27°	27°	27°	27°	26°	26°	26°	26°	26°	26°
(N)	35'	25'	15'	05'	55'	45'	35'	25'	15'	05'

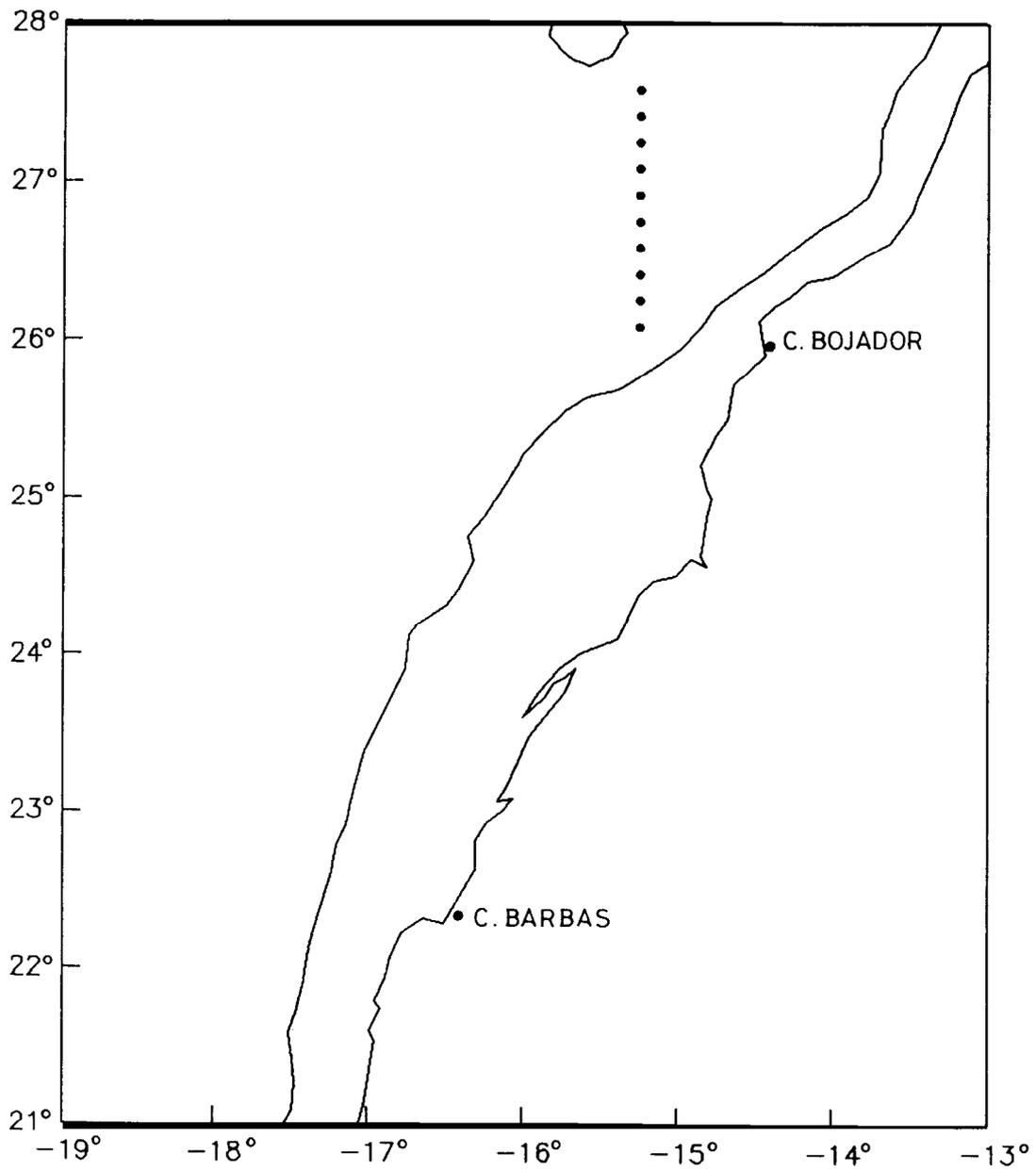


FIG. 1

Figura 1. Localización de los puntos de lanzamiento de las sondas XBT.

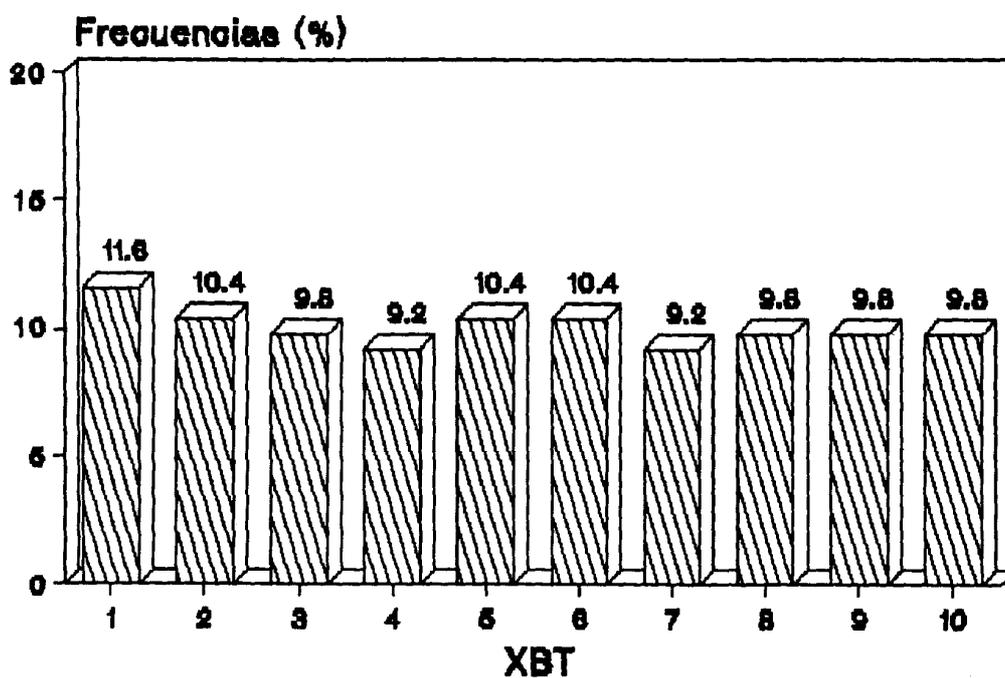


Figura 2. Histograma de frecuencias de los lanzamientos válidos en las diez estaciones de XBT.

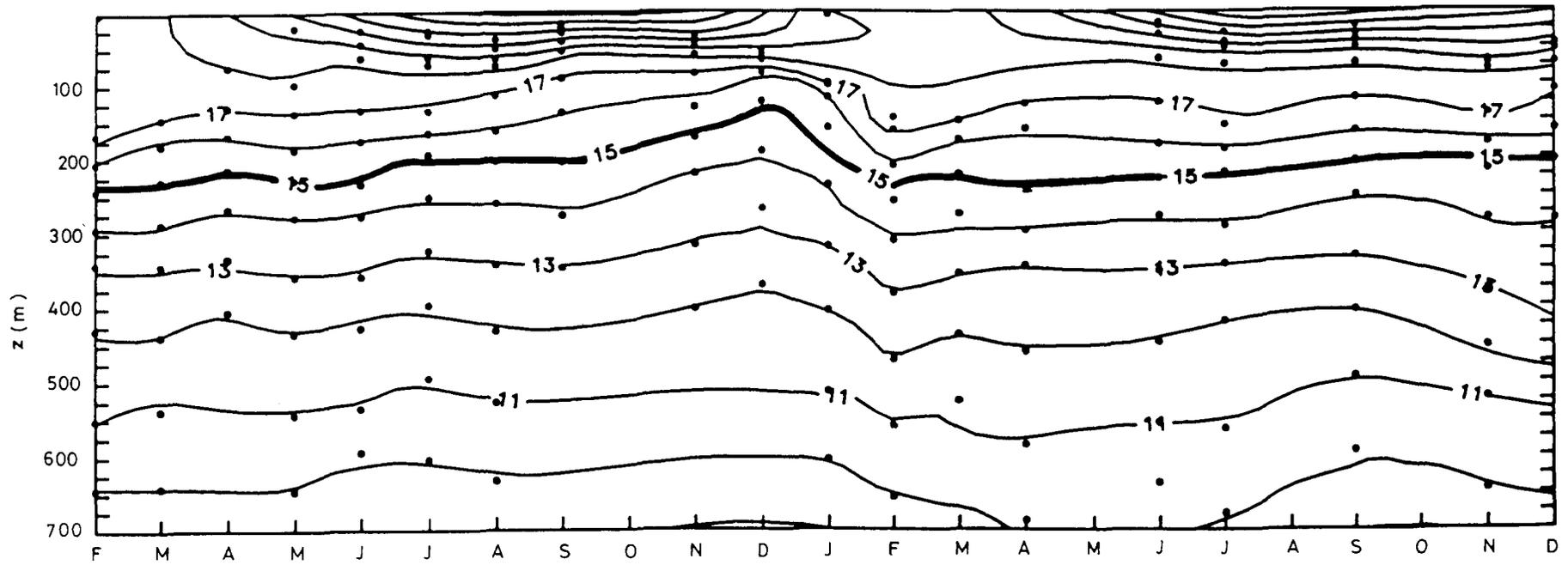


Figura 3. Distribución vertical de la temperatura en la estación 1, febrero 88-diciembre 89.

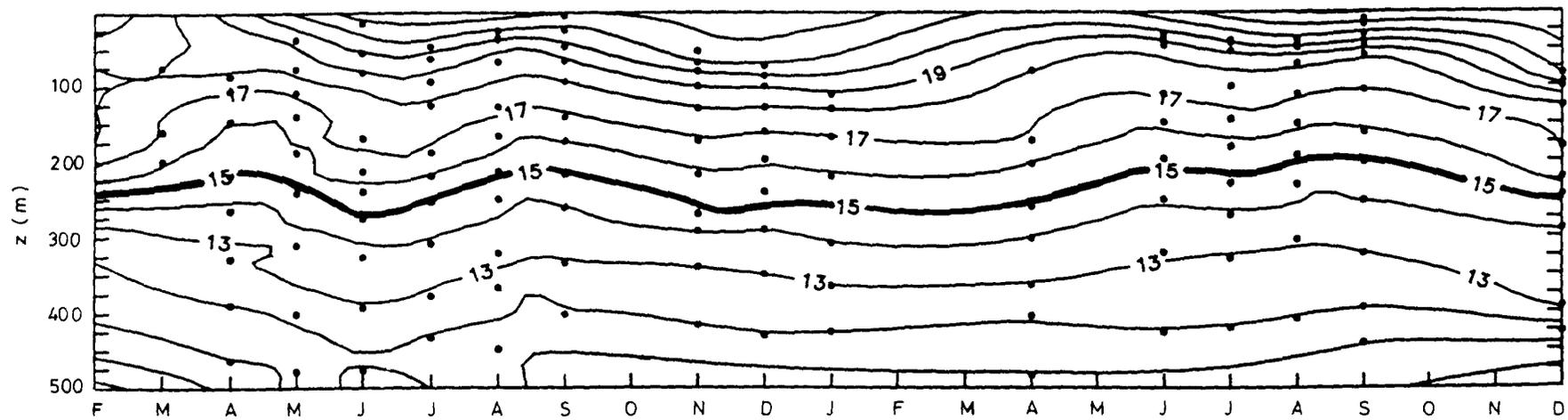


Figura 4. Distribución vertical de la temperatura en la estación 10, febrero 88-diciembre 89.

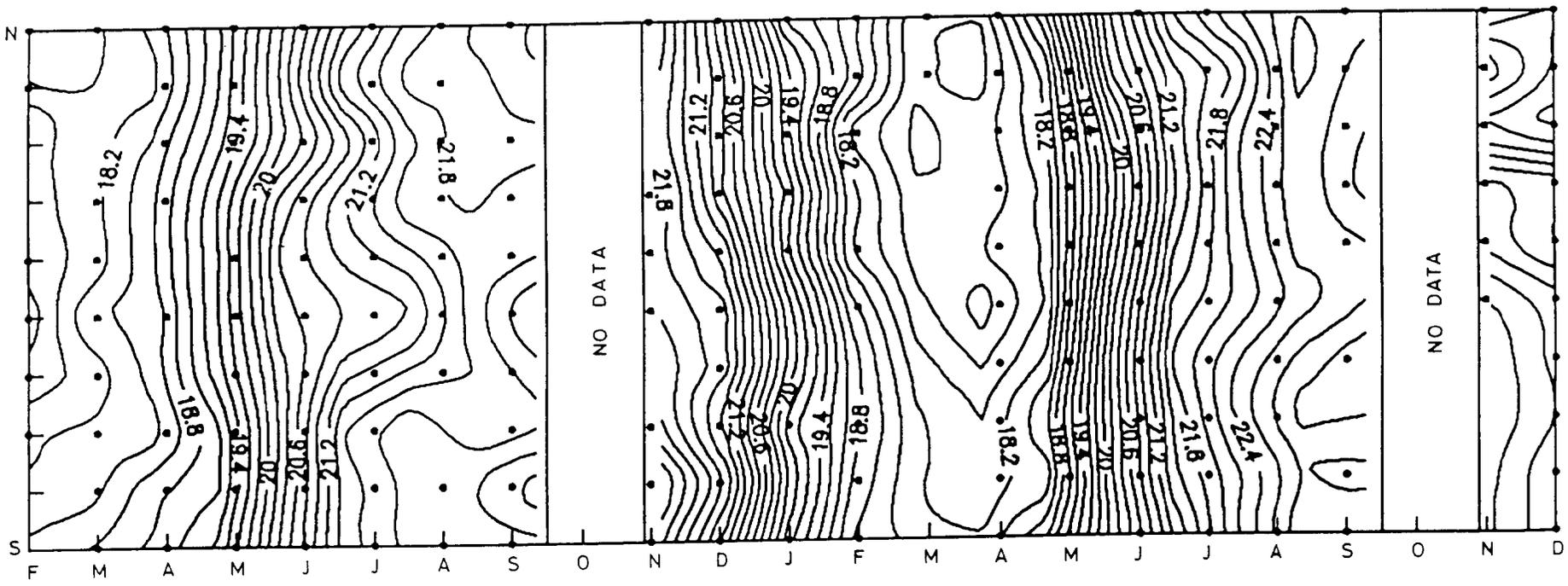


Figura 5. Distribución de temperaturas a la profundidad de 10 m en la sección, febrero 88-diciembre 89.

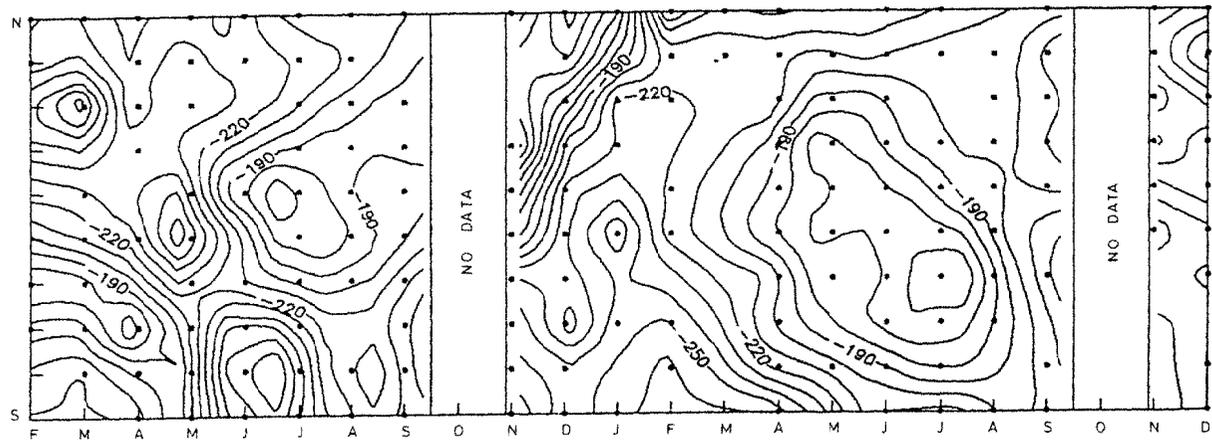


Figura 6. Distribución de la isoterma de 15°C en la sección, febrero 88-diciembre 89.