Variabilidad de parámetros oceanográficos en aguas de Canarias *O. Llinás¹, M.^a J. Rueda¹ y E. Pérez-Martell*²

¹ Instituto Canario de Ciencias Marinas. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. Apdo. 56. 35200 Telde (Las Palmas de Gran Canaria), España.

² Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Apdo. 550. 35016 Las Palmas de Gran Canaria, España.

RESUMEN

Se presentan los valores promedios de temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes en una estación situada al sur de la isla de Gran Canaria y se comparan con los promedios de los mismos parámetros de todas las estaciones existentes en el Banco Mundial de Datos Oceanográficos A de Washington, para una cuadrícula de $\Im \times \Im^{\circ}$ que incluye casi en su centro la estación referida. Los valores obtenidos en la estación se encuentran dentro del margen de desviación encontrado para los datos históricos en la cuadrícula. No obstante, los datos de la estación presentan una separación sistemática de los de la cuadrícula: aumento en oxígeno, disminución en nutrientes y deslizamiento hacia mayor densidad del diagrama T/S. Este fenómeno encuentra su justificación en el aumento de la turbulencia inducida por la isla en la circulación general.

Palabras clave: Hidrografía, nutrientes, diagrama T/S, islas Canarias.

ABSTRACT

Variability of oceanographic parameters in Canary Islands waters.

Mean values of temperature, salinity, oxygen, and nutrients from a station located south of Gran Canaria Island are presented. These data are compared with the corresponding mean values obtained from all the available stations in the World Data Center A for Oceanography for a $3 \times 3^{\circ}$ grid centered around this station. The values from this station fall within the standard deviation of the historical data over the grid area. However, a systematic departure from the historical grid values is reflected in an increase in oxygen, a decrease in nutrients, and a shift towards higher densities in the T/S diagram. These phenomena can be explained by the increased turbulence induced by the island on the general circulation.

Key words: Hydrography, nutrients, T-S curves, Canary Islands.

INTRODUCCIÓN

En 1981 se inició el estudio de una sección perpendicular a la costa compuesta por cinco estaciones a profundidades crecientes, en la última de las cuales, la estación 5 (st5), que estaba situada a 27° 41.8'N y 15°49.8'O al sur de la isla de Gran Canaria y sobre su talud continental, se muestreó hasta los 1000 m de profundidad. En el primer año se consiguió realizar un ciclo estacional, con ocho muestreos, quedando reducida entre 1983 y 1986, ambos inclusive, la posibilidad de muestreo a una sola vez por año, a principios de invierno. Se muestreó también en la misma época en 1988 y en 1991, lo que completa el total de catorce muestreos utilizados en el presente trabajo.

En aguas de Canarias ya existía un precedente de muestreo relativamente continuado en una misma estación, al norte de la isla de Tenerife, realizado por investigadores del IEO (de León y Braun, 1973) por lo que se consideró que la utilización de una metodología semejante podía ser de utilidad, al posibilitar la comparación de los resultados obtenidos en ambos los muestreos, lo que daría una visión más general de las características de las aguas canarias.

En el presente trabajo se presenta un estudio comparativo de los valores obtenidos para los parámetros básicos: temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes (fosfato, nitrato + nitrito y silicato) en la st5, que se comparan con los valores para los mismos parámetros disponibles en el Banco Mundial de datos oceanográficos A de Washington, de la cuadrícula de 3 x 3° entre 26°-29°N y 14°-17°O, que incluyen la st5 casi en posición central.

Se pretende así obtener una indicación de la variabilidad de los parámetros indicados en esta área, así como conocer el grado de representatividad que esta estación tiene respecto a su entorno.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos en la estación st5 se realizaron con botellas Niskin de 5 o 10 litros; las temperaturas se midieron con termómetros reversibles, utilizando termómetros protegidos y no protegidos para el cálculo de las profundidades termométricas. Las salinidades fueron medidas con un salinómetro Plessey Environmental Systems Mod 6230N, los datos se expresan en Unidades de Salinidad Práctica (USP) de acuerdo con la Ecuación de Estado del Agua de Mar de 1980 (UNESCO, 1984), siguiendo la propuesta de Lewis y Perkin (1981). En la tabla I se dan los resultados correspondientes a las medias de temperatura y salinidad de los ocho muestreos del ciclo anual, tratando de obtener una buena representación de la variación estacional en la zona.

Tabla I.—Promedio de valores del ciclo anual en la st5, para las profundidades referidas (m), de las temperaturas y salinidades observadas (°C, USP), con expresión de la desviación standard.

Prof.	Temp.	σ	Salin.	σ	
0	20.59	1.17	36.747	0.076	
10	20,35	1.13	36.744	0.074	
20	20.28	1.23	36.754	0.090	
30	19.98	1.18	36.733	0.092	
50	19.65	0.88	36.734	0.076	
75	19.13	1.00	36.730	0.089	
100	18.07	0.53	36.651	0.080	
200	15.87	0.45	36.273	0.096	
300	13.79	0.23	35.926	0.061	
400	12.50	0.29	35.737	0.050	
500	11.44	0.24	35.595	0.042	
600	10.55	0.22	35.490	0.077	
800	8.00	0.26	35.838	0.060	
1000	7.83	0.14	35.311	0.056	

En la tabla II se presentan los valores medios de la temperatura y la salinidad para la cuadrícula de 3 x 3°, ya referida, así como el número de valores con los que fueron calculados por Willenbrink (1982), dentro de un estudio más extenso en el Atlántico centro oriental, realizado sobre 4 000 perfiles seleccionados del Banco Mundial de Datos Oceanográficos A de Washington.

Tabla II.—Promedio de valores en la cuadrícula (26° - 29° N y 14° -17° O), para las profundidades referidas (m), de las temperaturas y salinidades observadas (°C, USP), con expresión de la desviación standard y del número de valores con los que se ha calculado.

Pr.	Temp.	σ	Salin.	σ	n.º
0 50 100 200 300	20.43 19.62 18.07 16.22 14.41	1.87 1.66 0.53 1.06 0.75	36.640 36.620 36.540 36.250 35.980 85.750	0.17 0.17 0.16 0.42 0.15 0.10	434 512 316 194 124
400 500 600 800 1000	12.80 11.72 10.69 8.75 7.87	0.43 0.55 0.62 0.60 0.53	35.750 35.610 35.510 35.330 35.310	0.10 0.08 0.09 0.11 0.12	40 72 67 66

Los datos de la tabla III son los promedios de los obtenidos en la st5; las concentraciones de oxígeno que se expresan en cm³/dm³ fueron determinadas a bordo, lo antes posible, por el método Winkler, sobre la primera alícuota del muestreo fijada inmediatamente; los nutrientes se determinaron en el laboratorio usando un autoanalizador AII Technicon ^R, conservando las muestras congeladas a -20° C hasta su análisis. Los detalles de las metodologías y procedimientos se pueden encontrar en Llinás (1988). Los resultados se expresan en μ moles/dm³; en el caso de la [nitrato] se refieren realmente a [nitrato + nitrito].

Tabla III.—Promedio de valores del ciclo anual en la st5, para las profundidades referidas(m), de la concentración de nitratos+nitritos, fosfatos y silicatos (µmoles/dm³ de N, P o Si), con expresión de la desviación standard y del número de valores con los que se ha calculado.

Prof.	Oxíg.	σ	n.º	N + N	σ	n.º	Fosf.	σ	n.º	Silic.	σ	n
0	5.12	0.40	12	0.10	0.30	13	0.18	0.13	13	0.99	0.93	12
10	5.19	0.34	13	0.92	0.87	13	0.16	0.17	13	0.56	0.69	13
20	5.25	0.46	7	1.28	1.34	10	0.13	0.15	10	0.37	0.50	10
30	5.22	0.46	9	0.45	0.90	11	0.16	0.16	9	0.27	0.33	9
50	5.28	0.45	13	1.53	1.98	13	0.14	0.07	13	0.66	0.86	13
75	5.36	0.38	12	2.06	2.36	12	0.20	0.12	13	0.58	0.55	13
100	5.28	0.49	14	2.11	0.91	13	0.21	0.11	14	1.16	1.13	14
150	5.04	0.43	9	4.16	1.39	9	0.33	0.15	9	1.27	0.57	9
200	4.85	0.32	14	6.89	1.28	14	0.44	0.15	14	2.37	1.07	14
300	4.51	0.39	14	11.50	1.77	13	0.66	0.12	13	4.46	1.30	14
400	4.35	0.27	12	16.14	2.34	13	0.91	0.17	13	5.68	1.06	13
500	4.00	0.21	11	20.22	1.70	11	1.13	0.20	12	8.51	1.97	13
600	3.75	0.32	13	22.82	1.60	11	1.30	0.19	13	10.64	0.59	13
700	3.39	0.35	10	24.28	2.05	10	1.45	0.17	10	12.71	3.16	9
800	3.51	0.13	11	25.41	2.10	10	1.64	0.18	11	16.90	1.44	9
900	3.57	0.06	10	27.01	2.32	10	1.71	0.16	10	17.22	0.09	9
1000	3.74	0.23	14	26.30	2.24	12	1.59	0.19	13	18.62	2.26	14

Tabla IV.—Promedio de valores en la cuadrícula (26°-29° N y 14°-17°O), para las profundidades referidas (m), de la concentración de nitratos+ nitritos, fosfatos y silicatos (μmoles/ dm³ de N, P o Si), con expresión de la desviación standard y del número de valores con los que se ha calculado.

Prof.	Oxíg.	σ	n.⁰	N + N	σ	n.º	Fosf.	σ	n.º	Silic.	σ	n
0	5.33	0.25	23	0.63	0.38	12	0.18	0.11	18			
10	5.39	0.27	23	0.65	0.51	16	0.15	0.09	18			
20	5.32	0.24	27	0.66	0.52	11	0.17	0.12	16			
30	5.32	0.23	27	0.93	0.66	13	0.19	0.16	21			
50	5.29	0.26	27	0.57	0.40	16	0.17	0.16	23	0.45	0.30	4
75	5.21	0.27	27	1.28	0.78	13	0.16	0.16	15			
100	5.14	0.27	27	2.00	1.61	16	0.21	0.11	22	1.30	0.35	4
125	4.99	0.34	25	1.88	1.52	10	0.35	0.17	8			
150	4.84	0.35	25	4.29	2.65	16	0.37	0.16	20	2.48	1.21	4
200	4.62	0.38	25	6.10	3.28	13	0.45	0.19	19	2.78	0.91	4
300	4.30	0.37	23	12.74	2.69	5	0.75	0.17	10	5.03	1.42	4
400	3.97	0.41	22	17.62	2.44	5	0.99	0.27	8	7.25	1.19	4
500	3.58	0.51	22	21.40	2.75	5	1.24	0.29	9	10.05	2.07	4
600	3.24	0.33	19	23.90	2.37	4	1.36	0.06	2	13.03	1.92	4
700	3.05	0.33	19	25.30	2.13	4	1.48	0.26	6	15.90	2.28	4
800	3.05	0.28	19	26.95	2.41	4	1.73	0.22	5	17.43	2.16	4
900	3.19	0.25	18	27.08	1.95	4	1.53	0.28	5	18.75	1.90	4
1000	3.44	0.20	15	26.45	1.61	4	1,79	0.14	5	19.43	1.48	4

En la tabla IV se presentan los promedios de los valores obtenidos para las estaciones situadas dentro de la cuadrícula $3 \times 3^{\circ}$ incluidas en la base de datos denominada "Oceanographic Station Data" (SD2) del Banco Mundial de Datos Oceanográficos A de Washington y cuyas características se pueden encontrar en la "Guía para usuarios del sistema" NODC (1991).

El número de estaciones en las que existía determinación de oxígeno y/o nutrientes es siempre muy inferior al de los disponibles con temperatura y salinidad, como se puede ver al comparar las tablas II y IV; el número variable de valores considerados para cada promedio se deriva de que se ha atribuido cada medida real a la profundidad de referencia más próxima a la que fue medida (por interpolación con el valor más próximo). El total de estaciones estudiadas fue de 27, con profundidades de observación máximas variables como se indica en la figura 1. La extensión temporal de la base de datos y la evolución de las metodologías analíticas para los nutrientes hizo necesario el análisis de la distribución temporal de las estaciones a emplear (fig. 2), del que se desprende que, salvo de las tres estaciones realizadas en 1952 y 1959, los resultados de las 24 restantes, que se han hecho después de ser disponibles los métodos analíticos básicos, pueden ser considerados como vigentes, por ejemplo, Murphy y Riley (1962) y Wood et al. (1967) para fosfatos y nitratos, respectivamente. Para los silicatos, a pesar de disponer de metodologías aceptables con anterioridad a la señalada, como, por ejemplo Amstrong (1951), sólo cuatro de las estaciones estudiadas presentan valores con especificación de decimales de µmoles/dm³, que son las que se han utilizado.



Fig. 1.—Distribución del número de estaciones incluidas en la cuadrícula 3 x 3° (20°-29°N y 14°-17°O) según la profundidad máxima alcanzada en cada una de ellas.



Fig. 2.--Distribución anual del número de estaciones incluidas en la cuadrícula de 3 x 3° (26°-29°N y 14°-17°O)

RESULTADOS

La temperatura y la salinidad han acumulado un número importante de observaciones de calidad a escala global, lo que tiene su reflejo en el número de observaciones disponibles en el área de estudio, que aunque todavía puedan considerarse insuficientes, son muchas más que las disponibles de oxígeno y nutrientes. Se han publicado diversos trabajos tratando de establecer las características generales termohalinas de los océanos, respecto de los cuales podemos referenciar las obtenidas en este punto, como "normales para el área" (Emery y Dewar, 1982; Levitus, 1984 y 1986).

Los valores de temperatura y salinidad de la st5 (tabla I) se encuentran dentro de los márgenes de desviación obtenidos para estos parámetros en la cuadrícula de 3 x 3° (tabla II), que son sensiblemente mayores que las calculadas para la st5, como era previsible. Es de señalar que la temperatura media anual de la capa superficial (0-100 metros) en la st5 y en la cuadrícula, así como la amplitud de su variación, son bastante próximas entre sí y con los datos de la estación en Tenerife antes señalada, resumidos en Braun *et al.* (1990), lo que vendría a indicar que la variación espacial de estos parámetros dentro del área de la cuadrícula es similar o inferior a la variación estacion en la misma área.

En la tabla II, para la profundidad de 200 m, aparece un valor de la desviación estándar sensiblemente más alto que los obtenidos para el resto de la columna, en la cuadrícula, análogamente en la st5, a esa profundidad, aparece también el máximo de la desviación estándar de la columna. Esta variación es debida a la presencia del denominado "máximo de salinidad subtropical" que en el océano Atlántico está descrito desde los primeros trabajos (Defant, 1936; Jacobsen, 1929; Worthinton, 1976; Fiuza y Halpern, 1982), pero que no queda aquí del todo bien reflejada, dado que su núcleo se suele encontrar en esta área entre los 100 y 200 m de profundidad (Llinás, 1988), rango para el que no existen valores en las tablas.

La diferencia en el número de datos disponibles de nutrientes en relación a los de temperatura y salinidad, antes señalada, no es exclusiva de la zona de nuestro estudio sino que es una circunstancia de carácter general, que tiene como consecuencia la práctica inexistencia de trabajos similares a los antes referidos para la temperatura y la salinidad; sin embargo, siendo como es clara la necesidad de su existencia, en los últimos tiempos han aparecido algunos instrumentos de avance, tratando de obtener relaciones eficaces de estos parámetros con la temperatura y salinidad (Kamykowski y Zentara, 1986; Fukumori y Wunsch , 1991; Fukumori et al., 1991). La comparación de los datos de estos trabajos y los presentados aquí puede resultar poco significativa dado la enorme diferencia de escalas existente entre ellos; no obstante, tomando como ejemplo el de menor escala (Fukumori et al., 1991), que se refiere al Atlántico norte, el ajuste encontrado es realmente bueno, presentándose los valores perfectamente dentro del rango de variación tanto de la st5, como de la cuadrícula [los datos del trabajo de Fukumori et al. (1991) son estaciones realizadas entre 1981 y 1985, período para el cual en la cuadrícula 3 x 3° se incluyen cuatro estaciones. No se ha podido comprobar si corresponden a los mismos cruceros].

En la figura 3 se muestra la distribución vertical de los valores de concentración de oxígeno, expresados en cm³/dm³, en la que se puede observar que hasta la profundidad de 50 m los valores medios para la st5 son ligeramente menores que los de la cuadrícula, alcanzando el máximo a los 75 m con valor superior a los de la cuadrícula, manteniéndose superior en todas las demás profundidades. Hasta la profundidad de 150 m la desviación de la media es del orden de dos veces mayor en la st5 que en la cuadrícula, haciéndose igual o menor desde esta profundidad hasta los 1 000 m, lo que debe estar ligado a que la variación de los procesos de producción fitoplanctónica que ocurren en la st5 (Llinás, 1988) y que son similares a los encontrados en otras estaciones costeras en Canarias (de León y Braun, 1973; Braun, 1980); por su proximidad a la costa insular son superiores a los que ocurren en la mayor parte del resto de la cuadrícula, que es más oceánica. El mínimo de oxígeno se sitúa en torno a $\sigma_{\rm T} = 27.4$ (entre los 700 y 800 m de profundidad, aproximadamente) en ambos casos y se corresponden bien con lo referido para esta zona (Jones y Folkar, 1970; Oren, 1972a; Braun *et al.*, 1987).



Fig. 3.—Distribución vertical de la concentración de oxígeno. Con línea discontinua los valores correspondientes a la st5 y con línea continua los correspondientes a la cuadrícula de 3 x 3°.

En las distribuciones de nutrientes que pueden verse en las figuras 4, 5 y 6 queda reflejada la existencia de una capa superficial de profundidad variable a partir de la cual los valores medios de las observaciones en la st5 se mantienen inferiores a los de la cuadrícula de $3 \times 3^{\circ}$, prácticamente hasta los 900-1000 m de profundidad. Los valores en general se corresponden bien con los publicados para el área por Jones y Folkar (1970); Oren (1972b); de León y Braun (1973); Shemmainda *et al.* (1975); Schulz *et al.* (1978); Braun (1980); Braun *et al.* (1987 y 1990), cuyos datos no se encuentran incluidos en la colección del Banco Mundial utilizada para la cuadrícula de 3 x 3°, lo que hace que una importante serie de datos, que podría mejorar el valor estadístico de la serie histórica, no esté disponible.



Fig. 4.—Distribución vertical de la concentración de nitrato + nitrito, denominando concentración de nitrato. Con línea discontinua los valores correspondientes a la st5 y con línea continua los correspondientes a la cuadrícula 3 x 3°.

En el caso de la concentración de nitrato, esta capa superficial, en la que las concentraciones en la st5 son iguales o superiores a las de la cuadrícula, alcanza hasta los 200 m. A partir de esta profundidad y hasta los 900 m, en que se igualan prácticamente, se mantienen inferiores aunque guardando un paralelismo significativo (fig. 4), situándose el máximo en ambos casos a mayor profundidad que el mínimo de oxígeno.



Fig. 5.—Distribución vertical de la concentración de fosfato. Con línea discontinua los valores de la st5 y con línea continua los correspondientes a la cuadrícula 3 x 3°.



Fig. 6.—Distribuciones verticales de la concentración de silicatos. Con línea discontinua los valores correspondientes a la st5 y con línea continua los correspondientes a la cuadrícula 3 x 3°.

Los valores medios de las concentraciones de fosfatos en la st5 se mantienen en general iguales o más bajos que los obtenidos para la cuadrícula, con la salvedad que se produce a 900 m, como consecuencia de una importante disminución del valor promedio de la concentración de fosfato en la cuadrícula; el límite de la capa superficial es menos significativo y podría fijarse en los 100 o 200 m; la st5 y la cuadrícula comparten también la situación más profunda de estos máximos en relación al mínimo de oxígeno (fig. 5).

En la tabla IV se puede comprobar, como ya se ha indicado, que para el cálculo de los valores medios de la concentración de silicato de la cuadrícula sólo se han podido utilizar cuatro de las 27 estaciones; a pesar de ello, el comportamiento relativo de los valores en la st5 se mantiene, quedando señalada la capa superficial y la persistencia de las medias de la concentración de silicato en valores inferiores a los de la cuadrícula (fig. 6). No queda señalado un máximo absoluto en ninguno de los dos casos.

A pesar de que el conjunto de los datos presentados para la st5 se encuentra dentro del margen de desviación encontrado para cada parámetro (salvo en el caso del oxíge-

21

20

19 18

17

16

15 14 13

12 11 10

> 9 8 7

Temperatura (°C

no para los valores correspondientes a profundidades superiores a los 500 m) y de que concuerda bien con los existentes en la bibliografía para la zona, como ya se ha indicado, la tendencia tan clara a la separación de los valores podría señalar alguna desviación metodológica o algún fenómeno local en la st5 que indicaría una condición diferencial para esta área respecto del resto de la cuadrícula.

En el primer caso, parece difícil una concurrencia de desviaciones en parámetros medidos por tan diferentes metodologías y dispositivos instrumentales, quedando sólo la duda de que al estar todos los datos referidos a profundidad en las tablas y figuras expuestas, un error sistemático en la medida o en el cálculo de las profundidades pudiera producir la segregación de los datos encontrados.

En la figura 7 se presenta el diagrama T/S correspondiente a la st5 y a la cuadrícula de $3 \times 3^{\circ}$, en el que los puntos se representan sin influencia de la profundidad a la que han sido obtenidos, y en el que se observa una concurrencia evidente en la segregación de los puntos representativos de ambas colecciones de datos, como ya se ob-

25

26.5

27

27.5

28

28.5

25.5



25

servó en los perfiles verticales de los otros parámetros, encontrándonos en la misma situación, ya que ambos diagramas se encuentran entre los "normales" para la zona (Oren, 1972c; Fraga, 1974; Mamayev, 1975) y la st5 dentro del margen de la desviación calculado para la cuadrícula. Por tanto, este diagrama T/S viene a corroborar que esta diferencia corresponde a una característica propia del lugar estudiado.

Tanto en el diagrama T/S de la estación como de la cuadrícula podemos separar lo que es la capa superficial, que se extendería hasta los 18°C de temperatura que señala el inicio o cabecera del Agua Central Noratlántica ACNA, formada por el Agua Modal de 18°C o Agua Modal de Madeira, según sea su origen espacio-temporal (Worthington, 1959, 1976; Masuzawa, 1969; Fraga, 1974; Siedler *et al.*, 1987). A partir de aquí, se encuentran los "segmentos" representativos del ACNA, que se curvan para alcanzar el agua de fondo del Atlántico, interviniendo en la mezcla las Aguas Intermedias Mediterránea y Antártica Intermedia.

Aunque convencionalmente, y para un buen número de fines prácticos, la distribución de puntos correspondientes al ACNA se puede ajustar a un segmento, en realidad queda mejor descrita por una curva de relación de densidad constante $R\rho = \alpha \Delta T / \beta \Delta S$ (Schmitt, 1981) donde $\alpha = -\rho^{-1}\delta\rho/\delta T$, y $\beta = \rho^{-1}\delta\rho/\rho S$, y donde ρ es la densidad y ΔT y ΔS son las variaciones de la temperatura y de la salinidad en el mismo intervalo de profundidad. En cualquier caso los estudios de Armi y Stommel (1983) (β espiral); Sarmiento (1983) y Thiele *et al.* (1986) (trazadores químicos) están de acuerdo en considerar que en esta región dominan la advección y mezcla isopícneas, lo que implica la conservación de la forma y situación de la curva representativa del ACNA en el diagrama T/S, esto está ampliamente contrastado. Esta tendencia a la conservación de la forma del diagrama se ve reforzada además por los mecanismos de doble difusión descritos por Schmitt (1981) y Bauer y Siedler (1988) que permiten variaciones termohalinas significativas sin perder la característica básica de la curva. Por ello, una estructura como la encontrada para la st5 sólo puede justificarse por la combinación de la presencia de aguas superficiales más saladas, fruto de un exceso de evaporación sobre las precipitaciones y, lo que es más importante, un aumento sustancial del componente turbulento de la mezcla (Mamayev, 1975).

La posición de la estación, que se puede observar en la figura 8, muestra que se encuentra en la zona en que la isla produce un disturbio significativo en la circulación de las aguas superficiales y que queda bien señalado por el calentamiento (que se observa a sotavento de las islas), en las imágenes térmicas superficiales obtenidas desde satélite y que es una circunstancia muy frecuente en esta área (Llinás et al., 1990; Vancamp et al., 1991). Este es un fenómeno de la misma naturaleza que el ocurre en la atmósfera en la misma posición y que debe, por tanto, extenderse en profundidad (Chopra, 1973), lo que justificaría la posibilidad de aumento de la turbulencia necesaria para que pudiera producirse el efecto reflejado en el diagrama T/S. Hogg (1972) encuentra modificaciones significativas en los perfiles verticales de temperatura y salinidad en la capa superficial cerca de la costa en la isla de Bermuda.



Fig. 8.—Imagen superficial de la distribución de la temperatura obtenida del sensor AVARR para la mayor parte de la cuadrícula 3 x 3°, en la que se señala la posición de la st5. En ella se puede observar el calentamiento de las aguas en el sur de la isla.

La zona del archipiélago canario en general, y la posición de la st5 en particular, se encuentran en el área del Atlántico norte donde se dan las circunstancias climáticas que producen estacionalmente el máximo de salinidad subtropical (Stramma e Isemer, 1986 y Schmitt *et al.*, 1989) y está confirmado estadísticamente (Bauer y Siedler, 1988) que en la posición concreta de la st5 esto se ve reforzado por el calentamiento local a sotavento de la isla antes referido.

El fenómeno, no obstante, debe estar circunscrito al área donde la turbulencia se mantiene, muy próxima a la costa y al talud de la isla, como se deduce de los modelos como el de Wang (1982) y Pingree y Maddock (1985), tendiendo luego rápidamente a recuperar las condiciones generales del área, que se reflejan en los datos de la cuadrícula 3 x 3º. Sería muy interesante el estudio de la zona de interfase entre ambas áreas, dado que en dicha zona se produciría un rápido cambio de condiciones de mezcla de diapícneas a isopícneas.

Por debajo de los 11°C se presentan también ligeras variaciones en el diagrama T/S, que podrían tener su justificación también en el aumento de la turbulencia y, por tanto, en el incremento de los procesos de mezcla turbulentos con las masas de aguas intermedias.

CONCLUSIONES

Con las precauciones que se han de derivar del limitado número de datos para el oxígeno y los nutrientes en la cuadrícula de $3 \times 3^{\circ}$, la distribución de valores de los parámetros básicos en ella incluyen, en general, dentro del margen de variación encontrado para el conjunto de la cuadrícula, los obtenidos para la st5 en el sur de la isla de Gran Canaria. La variación estacional en la st5 es de un orden similar a la encontrada para toda la cuadrícula, donde previsiblemente sea esta misma la principal causa de variación.

La "desviación" encontrada en el diagrama T/S del "segmento" o curva correspondiente al ACNA, así como el aumento en la concentración de oxígeno y disminución en las de nutrientes, señalan una peculiaridad local debida al aumento de la turbulencia generada por la isla en el seno de la circulación dominante en el área.

En cualquier caso, en el conjunto de la cuadrícula predominan las características definidas por los fenómenos de mesoescala conocidos en el Atlántico centro oriental.

BIBLIOGRAFÍA

- Armi L. y H.Stommel. 1983. Four views of a portion of the North Atlantic subtropical gyre. J Phys Oceanogr 13: 828-857 pp.
- Armstrong, F.A.J. 1951. The determination of silicate in sea water. J Mar Biol Ass (UK) 30: 149-160 pp.
- Bauer E. y G. Siedler. 1988. The relative contributions of advection and isopycnal and diapycnal mixing below the subtropical salinity maximun. *Deep Sea Res* 35: 811-837 pp.
- Braun, J.G. 1980. Estudios de producción en aguas de las islas Canarias. I. Hidrografía, nutrientes y producción primaria. *Bol Inst Esp Oceanogr* 285: 149-154 pp.
- Braun, J.G., J.D. de Armas, J.E. Escánez, F. Real, M.T.G. Santamaría, C. Vargas, I. Orzaiz y J.E. Villamandos. 1990. Condiciones Oceanográficas en primavera en aguas de la isla de Tenerife. I. Hidrografía y Química. Bol Inst Esp Oceanogr 6(2): 21-28 pp.
- Braun, J.G., J.D. de Armas, F. Real, J.E. Escánez, J.E. Villamandos y M.T.G. Santamaría. 1987. Condiciones oceanográficas en aguas de las islas Canarias. En: *IV Seminario de Química Marina*: 109-115. Servicio de Publicaciones de la Univ. de Cádiz.
- Camp, L. van, L. Nykjaer, E. Mittelstaedt y P. Schlittenhardt. 1991. Upwelling and boundary circulation off Nortwest Africa as depicted by infrared and visible Satellite observations. *Prog Oceanogr* 26: 357-402 pp.
- Chopra, K.P. 1973. Atmosferic and oceanic flow problems introduced by islands. Advan Geophys 16: 297-421 pp.
- Defant, A. 1936. Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Die Troposphare. En: Wissenschaftliche Ergebrisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Vermessungs und Forschungsschiff "Meteor" 1925-27 6(1)3: 289-411 pp.
- Emery, W.J. y J.S. Dewar. 1982. Mean Temperature-Salinity, Salinity Depth and Temperature-Depth Curves for the North Atlantic and North Pacific. *Prog Oceanogr* 11: 219-305 pp.
- Fiuza, A.F.G. y D. Halpern. 1982. Hydrographic

observations of the Canary Current between 21°N and 25,50°N in March/April 1974. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer* 180: 58-64 pp.

- Fraga, F. 1974. Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauritanie. *Tethys* 6(1-2): 5-10 pp.
- Fukumori, I., y C.Wunsch. 1991. Efficient representation of North Atlantic. Hydrographic and chemical distributions. *Prog Oceanogr* 27: 111-195 pp.
- Fukumori, I., F. Martel y C. Wunsch. 1991. The hydrography of North Atlantic in the early 1980s. An Atlas. Prog Oceanogr 27: 1-110 pp.
- Hogg, N.G. 1972. Steady Flow Pas an Island with Aplications to Bermuda. *Geophys Fluid Dyn* 4: 55-81 pp.
- Jacobsen, J.P. 1929. Contribution to the hydrography of North Atlantic, The "Dana" Expedition 1921-1922. Edited by the "Dana" Committee. *Oceanograpical Reports*. 1: 98 pp.
- Jones, P.G.W. y A.R. Folkard. 1970. Chemical oceanographic observations off the coast of North West Africa, with special reference to the process of upwelling. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer* 159: 38-60 pp.
- Kamykowski, D. y S.J. Zentara. 1986. Predicting plant nutrient concentrations from temperature and sigma-l in the upper kilometer of the world ocean. *Deep Sea Res* 33: 98-105.
- León, A.R. de y J.G. Braun. 1973. Ciclo anual de la producción primaria y su relación con los nutrientes en aguas canarias. *Bol Inst Esp Ocea*nogr 167: 24 pp.
- Levitus, S. 1984. Annual Cycle of Temperature and Salt Storage in the World Ocean. J Phys Oceanogr 14: 727-746 pp.
- Levitus, S. 1986. Annual Cycle of salinity and Salt Storage in the World Ocean. J Phys Oceanogr 16: 322-343 pp.
- Lewis, E.L. y R.G. Perkin. 1981. The Practical Salinity Scale 1978, conversion of existing data. *Deep Sea Res* 28: 307-328 pp.
- Llinás, O. 1988. Análisis de la distribución de nutrientes en la masa de agua central noratlántica en las islas Canarias. Tesis Doctoral: Univ. de La Laguna: 252 pp.
- Llinás, O., M.^a J. Rueda y E. Pérez-Martell. 1990. Aportación de la teledetección a la cuantificación de algunos fenómenos de interés en Canarias. En: III Reunión Científica del grupo de trabajo en teledetección. C. Antón-Pacheco y J.L. Labrandero (eds.): 327-336. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

Mamayev, O.I. 1975. Temperature-Salinity analysis

of World Ocean waters. (Elsevier Oceanography Series) 11. Elsevier. Amsterdan: 374 pp.

- Masuzawa, J. 1969. Subtropical Mode Water. Deep Sea Res 16: 463-472 pp.
- Murphy, J. y J.P. Riley. 1962. A modified simgle solution method for the determination of Phosfate in natural waters. *Anal Chim Acta* 27: 31-36 pp.
- NODC. 1991. National Ocanographic Data Center Users Guide. Section 4.1.1. NODC, NESDIS, NOAAA. Washington: 7 pp.
- Oren, O.H. 1972a. Results of the UNDP(SF)/FAO Regional Fisheries Survey in West Africa. Report No 2. Preliminary Note on Dissolved Oxigen in the Canary Current. *Mar Biol* 17: 1-3 pp.
- Oren, O.H. 1972b. Results of the UNDP(SF)/FAO Regional Fisheries Survey in West Africa. Report No 3. Silicates in the Canary Current Area. Mar Biol 17: 4-6 pp.
- Oren, O.H. 1972c. Results of the UNDP(SF)/FAO Regional Fisheries Survey in West Africa. Report No 4. T/S Relationship in the Canary Current Area. *Mar Biol* 17: 187-200 pp.
- Pingree, R.D. y L. Maddock. 1985. Rotary currents and residual circulation around banks and islands. *Deep Sea Res* 32: 929-947 pp.
- Sarmiento, J.L. 1983. A Tritium Box Model of the North Atlantic Thermocline. J Phys Oceanogr 13: 1269-1274 pp.
- Schemainda. R., D. Nehring y S. Schulz. 1975. Ozeanologische Untersuchungen zum produktionspotential dern nordwestafrikanischen, Wasserauftriebsregion, 1970-1973. Geodaet Geophys Veroeffentlichungen Reiche IV, H. 16: 88 pp.
- Schmitt, R.W. 1981. Form of the temperature-salinity relationship in the Central Water: Evidence for Double-Diffusive Mixing. J Phys Oceanogr 11: 1015-1026 pp.
- Schmitt, R.W., P.S. Bogden y C.E. Dorman. 1989. Evaporation Minus Precipitation and density Fluxes for the North Atlantic. J Phys Oceanogr 19: 1208-1221 pp.
- Schulz, S., R. Schemainda y D.Nehring. 1978. Seasonal variations in the physical, chemical, and biological features in the CINECA region. En: Symposium on the Canary Current: Upuvelling and Living Resources (11-14 de abril, 1978. Las Palmas, España) nº 14: 56 pp. (Mimeo).
- Siedler, G., A. Kuhl y W. Zenk. 1987. The Madeira Mode Water. *J Phys Oceanogr* 17: 1561-1570 pp.

- Stramma, L. y H. Isemer. 1986. Meridional Temperature fluxes in the subtropical easter North Atlantic. Deep Sea Res 33: 209-223 pp.
- Thiele, G., W. Roether, P. Schlosser, R. Kuntz, G. Siedlers y L. Stramma. 1986. Baroclinic Flow and Trasient-Tracer Fields in the Canary Cape Verde Basin. J Phys Oceanogr 16: 814-826 pp.
- UNESCO. 1984. La escala de salinidades prácticas de 1978 y la ecuación de estado del agua de mar de 1980. Documentos Técnicos de la UNESCO sobre ciencias del mar. 36: 25 pp.
- Wang, D. P. 1982. Development of a Three-Dimensional, Limited-Area (Island) Shelf Circulation Model. *J Phys Oceanogr* 12: 605-617 pp.
 Willenbrink, E. 1982. Wassermassenanalyse im

tropischen und subtropischen Nordostatlantic. Berichte aus dem Institut fur Meereskunde 96: 72 pp.

- Wood, E.D., F.A. Armstrong y F.A. Richards. 1967. Determination of Nitrite in Sea Water by Cadmium-Copper reduction to Nitrite. J Mar Biol Ass (UK) 47: 23-31 pp.
- Worthington, L.V. 1959. The 18° water in the Sargasso Sea. *Deep Sea Res* 5: 297-305 pp.
- Worthinton, L.V. 1976. On the North Atlantic Circulation. En: Oceanogr Stud 6: 110 pp. Johns Hopkins University Press. Baltimore.

Recibido en agosto de 1992. Aceptado en mayo de 1993.