

La distribución de la clorofila *a* en aguas de Canarias

Javier Arístegui

Facultad de Ciencias del Mar. Apartado 550. Las Palmas de Gran Canaria, Islas Canarias. España.

RESUMEN

*La concentración de clorofila *a* en aguas de Canarias debe interpretarse con cautela a la hora de ser utilizada como índice de productividad de un área determinada, pues a menudo sólo representa el excedente del consumo del zooplancton. Este hecho, junto con la tendencia del fitoplancton a agregarse formando máximos subsuperficiales o profundos, pueden dificultar la interpretación de imágenes de color del océano obtenidas mediante sensores remotos.*

Las abundancias de fitoplancton y zooplancton se correlacionan positivamente durante los meses menos productivos. Sin embargo, entre marzo y junio, cuando se alcanzan las máximas concentraciones de zooplancton, la relación se invierte y la biomasa de fitoplancton pasa a depender esencialmente del control ejercido por el pastaje.

*Aunque en general se aprecia un ligero gradiente de aumento de clorofila *a* hacia las islas más orientales y cercanas al afloramiento, los valores medios son siempre bajos ($< 0.25 \text{ mg.m}^{-3}$) y las diferencias no son tan definidas como ocurre con el zooplancton, que muestra una clara distribución en manchas.*

Palabras clave: clorofila *a*, distribución, Islas Canarias.

SUMMARY

Distribution of chlorophyll *a* in the Canary Islands waters.

*The concentration of chlorophyll *a* in the Canary Islands waters should not be used as an index of productivity of a given area, since frequently only represents what the zooplankton doesn't graze. This fact, together with the tendency of phytoplankton to aggregate in subsurface layers forming chlorophyll maxima, may difficult the interpretation of satellite ocean color images.*

Phytoplankton and zooplankton abundances are positively correlated during the less fertile months. However, this relationship is inverted between March and June, when zooplankton peaks and controls very efficiently the phytoplankton crop.

*Mean values of chlorophyll *a* are generally low ($< 0.25 \text{ mg.m}^{-3}$) during most of the year all around the Archipelago. However, a slight gradient of increasing content in this pigment may be appreciated towards the eastern islands.*

Key words: chlorophyll *a*, distribution, Canary Islands.

INTRODUCCION

Entre el 6 de mayo y el 4 de junio de 1986 se llevó a cabo, a bordo del B/O Taliarte, la campaña de prospección hidroacústica ECOS 8605, para la evaluación del stock de peces pelágicos costeros de Canarias. Esta campaña fue fruto del Programa de Evaluación de Recursos Pesqueros de Canarias, recogido en un convenio de cooperación entre la Comunidad Autónoma de Canarias, el Insti-

tuto Español de Oceanografía y el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. Básicamente consistió en un ecorrastreo de la plataforma y talud de todas las islas y banquetes del Archipiélago. Pero también, como actividad complementaria, se llevó a cabo un estudio de las propiedades físico-químicas de la columna de agua y de la distribución del fito- y zooplancton, en estaciones hidrológicas seleccionadas dentro de los transectos efectuados por el barco.

Este trabajo corresponde principalmente al estudio de la clorofila *a*, carotenos y feopigmentos procedentes del fitoplancton recolectado durante la campaña ECOS 8505. A pesar de que el número y situación de las estaciones hidrológicas estuvo supeditado a los intereses prioritarios de la campaña, los resultados que aquí se presentan constituyen el registro más completo sobre la distribución de pigmentos fotosintéticos en aguas del litoral de Canarias. Sin embargo, para poder contrastar estos datos con los obtenidos en otras épocas del año, y de esta forma tener una visión más precisa de la distribución de la clorofila *a* en Canarias, se incluyen y discuten también los datos obtenidos previamente por otros autores para esta área (Real *et al.*, 1981; Fernández de Puellas, 1986; Hernández - León y Miranda - Rodal, 1987).

La concentración de clorofila *a* en el agua de mar se ha utilizado a menudo como un índice de la productividad de un área, y en ocasiones se ha podido demostrar su relación con la abundancia de peces litorales y la actividad pesquera. Recientemente, la utilización de sensores remotos en satélites que trabajan en el espectro del visible ha permitido la obtención de imágenes sinópticas de áreas extensas, a partir de las cuales se relaciona el color de los océanos con la biomasa del fitoplancton (Morel y Prieur, 1977; Gordon y Morel, 1983; Nykjaer *et al.*, 1986). La utilización de series temporales de estas imágenes ha servido no sólo para estudios de la variabilidad de la clorofila superficial en áreas de mayor o menor extensión, sino incluso para predecir zonas estratégicas de pesca (Lauris *et al.*, 1984). Sin embargo, la clorofila *a* no siempre representa fielmente la productividad de un sistema, pues su presencia depende, además de las condiciones hidrológicas y de la concentración de nutrientes en la zona eufótica, del control que los herbívoros del zooplancton ejercen sobre el fitoplancton. Una comunidad de fitoplancton puede ser muy productiva (con un alto cociente producción/biomasa) y sin embargo el resultado de esta actividad autotrófica sólo la podríamos encontrar en el digestivo y las excretas de sus consumidores o como materiales reciclados.

Uno de los intereses principales de esta

campana consistía precisamente en comprobar si las concentraciones de pequeños pelágicos costeros en determinadas áreas litorales del Archipiélago se podía correlacionar con el modelo de distribución de la clorofila *a*, como ocurre en otras zonas costeras del mundo. En tal caso, los mapas de color del océano, obtenidos mediante sensores remotos, podrían ser una herramienta eficaz para localizar áreas potenciales de pesca en Canarias.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras de agua para el análisis de los pigmentos se obtuvieron de 65 estaciones (Fig. 1), por medio de botellas oceanográficas tipo «Niskin», a diferentes niveles según la profundidad del fondo: generalmente cada 15 m, entre 0 y 50 ó 75 m en aguas sobre la plataforma, y cada 25 m, entre 25 y 150 m en aguas sobre el talud. Al tiempo que se recolectaba el agua, se midió la temperatura con termómetros invertidos dispuestos sobre las botellas.

Aproximadamente, 5 litros de agua de mar eran filtrados a través de filtros Whatman GF/F de fibra de vidrio, e inmediatamente congelados a -30°C hasta su análisis en el laboratorio. La clorofila *a* y los carotenos se determinaron por el método espectrofotométrico, utilizando las ecuaciones tricromáticas de Jeffrey y Humphrey (1975). Durante la filtración no se añadió MgCO_3 para prevenir la acidez del filtro, pues no parece demostrado que sea necesaria su utilización (Holm-Hansen, 1978; Lium y Shoaf, 1978) y, sin embargo, pueden formarse agregados de fitoplancton y carbonato de magnesio que pueden ser causantes de pérdida de clorofila (Sand-Jensen, 1976). Como disolvente se utilizó acetona al 90 % con el fin de poder comparar con valores obtenidos en trabajos anteriores y por ser el agente de extracción más frecuentemente usado, a pesar de que algunos autores como Holm-Hansen (*op. cit.*) o Riemann (1980) aprecian una eficiencia de extracción mayor con metanol. Las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey no tienen en cuenta la absorbancia debida a productos de degradación de las clorofilas, por lo que cuando éstos son abundantes los valores que obtenemos

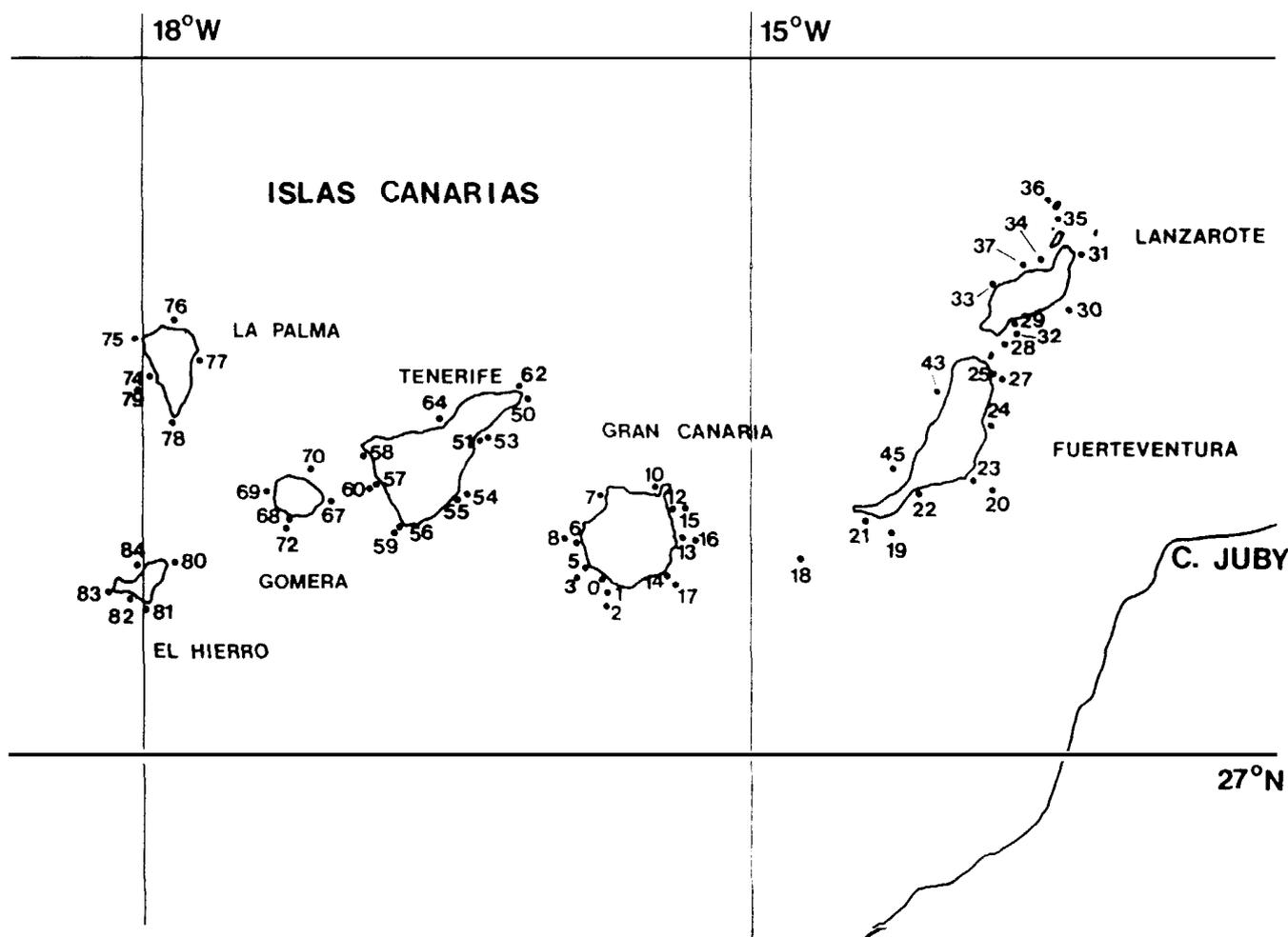


Fig. 1.—Estaciones de muestreo en aguas litorales de las Islas Canarias.

pueden ser imprecisos. La degradación de clorofilas puede ser debida a procesos de digestión del zooplancton, convirtiéndose la clorofila en feopigmentos (feofórbidos y feofitinas), o bien a procesos de descomposición debido a enzimas hidrolíticas del fitoplancton que convierten la clorofila en clorofilida. Sin embargo, debido a que el coeficiente de absorción de la clorofilida es el mismo que el de la clorofila parental sólo es posible determinar feopigmentos espectrofotométricamente (Parsons *et al.*, 1984). La determinación de feopigmentos se realizó utilizando la ecuación propuesta por Lorenzen (1967), tras la acidificación previa de las muestras.

El zooplancton se capturó en arrastres verticales, desde 100 m (o el fondo) hasta la superficie, con una red del tipo WP-2 (Hernández-León, datos sin publicar). La metodología del análisis de las proteínas ya ha sido explicada en trabajos anteriores (Hernández-León *et al.*, 1984; Hernández-León

y Miranda - Rodal, 1987; Hernández - León, 1988).

RESULTADOS

Si comparamos la concentración media de clorofila *a* por isla (obtenida a partir de los valores medios en cada una de las estaciones) (Tablas I y II) se puede observar que las diferencias no son grandes, con un ligero gradiente de aumento hacia las islas más orientales. El rango de valores se sitúa entre 0.15 mg.m⁻³ para La Palma y 0.19 mg.m⁻³ para Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura. Por otro lado, tampoco parece existir una distinción clara entre los valores de clorofila *a* en estaciones a barlovento o sotavento y sobre la plataforma o fuera de ella (Tabla III). Las máximas concentraciones de clorofila *a* se encontraron en la estación 76, al norte de la isla de La Palma, con valores que oscilaban entre 0.5 y 1 mg.m⁻³

(correspondiendo con un enfriamiento en toda la columna de agua de cerca de 1 °C con respecto a estaciones adyacentes). Estos valores no son habituales en las islas duran-

te esta época del año, por lo que no se han incluido a la hora de representar los valores medios de las Tablas II y III.

TABLA I.—Valores medios en la columna de agua de la temperatura (°C), pigmentos (clorofila *a*, carotenos y feopigmentos) ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) e índice feopigmentos/clorofila *a*, en diferentes estaciones del litoral de Canarias (ver Figura 1). Junto a cada estación se indica la profundidad de la misma en metros.

Estación	Prof.	Temp.	Clor.	Carot.	Feop.	Feop./Clor.
Gran Canaria						
0	25	19.5 ± 1.13	0.20 ± 0.13	0.02 ± 0.02	0.20 ± 0.23	0.77 ± 0.66
1	10	19.0 ± 0.46	0.15 ± 0.01	0.08 ± 0.04	0.17 ± 0.11	1.08 ± 0.74
2	100	18.4 ± 0.05	0.22 ± 0.07	0.04 ± 0.04	0.13 ± 0.07	0.58 ± 0.22
3	100	18.2 ± 0.43	0.14 ± 0.04	0.05 ± 0.04	0.11 ± 0.09	0.92 ± 0.88
5	35	18.8 ± 0.31	0.21 ± 0.05	0.08 ± 0.01	0.20 ± 0.06	1.04 ± 0.60
6	50	19.4 ± 0.78	0.20 ± 0.09	0.07 ± 0.05	0.06 ± 0.10	0.23 ± 0.41
7	25	18.3 ± 0.52	0.38 ± 0.09	0.07 ± 0.09	0.20 ± 0.20	0.49 ± 0.44
8	150	18.5 ± 0.39	0.14 ± 0.04	0.01 ± 0.02	0.16 ± 0.06	0.35 ± 0.95
10	50	18.9 ± 0.06	0.23 ± 0.18	0.08 ± 0.12	0.07 ± 0.10	0.20 ± 0.22
12	35	18.5 ± 0.35	0.13 ± 0.05	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.27 ± 0.13
13	150	18.3 ± 0.57	0.17 ± 0.08	0.05 ± 0.04	0.09 ± 0.06	0.60 ± 0.53
14	15	18.8 ± 0.21	0.12 ± 0.08	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.02	0.31 ± 0.03
15	150	17.8 ± 0.82	0.18 ± 0.10	0.06 ± 0.08	0.11 ± 0.08	1.04 ± 1.45
16	150	17.8 ± 0.82	0.14 ± 0.07	0.03 ± 0.04	0.15 ± 0.09	1.37 ± 1.37
17	75	18.0 ± 0.70	0.24 ± 0.11	0.04 ± 0.04	0.14 ± 0.09	0.68 ± 0.40
Fuerteventura						
18	150	17.6 ± 0.80	0.17 ± 0.09	0.06 ± 0.06	0.10 ± 0.08	0.87 ± 0.73
19	150	18.0 ± 0.75	0.12 ± 0.09	0.03 ± 0.06	0.09 ± 0.07	0.81 ± 0.85
20	150	17.9 ± 0.82	0.23 ± 0.16	0.07 ± 0.07	0.07 ± 0.09	0.79 ± 1.26
21	150	18.0 ± 0.91	0.26 ± 0.34	0.06 ± 0.06	0.08 ± 0.08	1.42 ± 1.38
22	25	19.3 ± 0.15	0.13 ± 0.05	0.03 ± 0.05	0.01 ± 0.01	0.06 ± 0.11
23	35	19.0 ± 0.10	0.10 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.26 ± 0.24	2.60 ± 2.40
24	150	17.4 ± 0.74	0.20 ± 0.13	0.07 ± 0.04	0.08 ± 0.12	0.81 ± 1.10
25	100	17.8 ± 0.34	0.26 ± 0.14	0.09 ± 0.06	0.08 ± 0.09	0.36 ± 0.41
27	150	17.6 ± 0.74	0.15 ± 0.04	0.01 ± 0.03	0.17 ± 0.15	1.07 ± 0.74
43	40	18.0 ± 0.05	0.26 ± 0.03	0.10 ± 0.01	0.08 ± 0.07	0.34 ± 0.31
45	75	18.5 ± 0.31	0.27 ± 0.14	0.08 ± 0.08	0.13 ± 0.13	0.53 ± 0.57
Lanzarote						
28	100	17.9 ± 0.81	0.21 ± 0.07	0.08 ± 0.04	0.17 ± 0.08	0.85 ± 0.30
29	100	18.1 ± 0.94	0.14 ± 0.07	0.07 ± 0.03	0.12 ± 0.07	1.18 ± 0.62
30	150	17.7 ± 0.65	0.21 ± 0.14	0.10 ± 0.12	0.11 ± 0.08	0.63 ± 0.63
31	50	18.0 ± 0.65	0.12 ± 0.07	0.04 ± 0.02	0.02 ± 0.02	0.20 ± 0.20
32	150	17.7 ± 0.88	0.15 ± 0.09	0.03 ± 0.03	0.05 ± 0.06	0.32 ± 0.33
33	150	17.6 ± 0.74	0.14 ± 0.06	0.03 ± 0.02	0.09 ± 0.08	0.57 ± 0.40
34	25	17.9 ± 0.12	0.22 ± 0.11	0.10 ± 0.05	0.16 ± 0.21	1.29 ± 2.03
35	50	18.2 ± 0.64	0.32 ± 0.20	0.15 ± 0.19	0.08 ± 0.14	0.56 ± 0.96
36	150	17.8 ± 0.51	0.23 ± 0.14	0.04 ± 0.07	0.24 ± 0.22	1.13 ± 1.11
37	150	17.7 ± 0.54	0.18 ± 0.12	0.06 ± 0.04	0.07 ± 0.07	0.37 ± 0.29

TABLA I.—(Continuación.)

Estación	Prof.	Temp.	Clor.	Carot.	Feop.	Feop./Clor.
Tenerife						
50	50	19.1 ± 0.35	0.16 ± 0.04	0.05 ± 0.05	0.08 ± 0.05	0.48 ± 0.29
51	150	18.9 ± 0.68	0.15 ± 0.04	0.01 ± 0.01	0.09 ± 0.06	0.64 ± 0.42
53	150	18.8 ± 0.79	0.17 ± 0.06	0.04 ± 0.05	0.02 ± 0.02	0.09 ± 0.12
54	150	18.8 ± 0.77	0.20 ± 0.02	0.08 ± 0.04	0.06 ± 0.04	0.31 ± 0.20
55	150	19.1 ± 0.53	0.19 ± 0.06	0.07 ± 0.03	0.10 ± 0.09	0.46 ± 0.44
56	150	18.6 ± 0.82	0.18 ± 0.06	0.07 ± 0.05	0.16 ± 0.07	0.87 ± 0.31
57	40	19.7 ± 0.47	0.22 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.08 ± 0.95	0.17 ± 0.17
58	25	19.7 ± 0.14	0.20 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.14 ± 0.20	0.67 ± 0.94
59	150	18.8 ± 0.44	0.16 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.15 ± 0.09	0.96 ± 0.70
60	150	18.8 ± 0.95	0.19 ± 0.09	0.06 ± 0.03	0.09 ± 0.10	0.53 ± 0.41
62	25	19.7 ± 0.42	0.13 ± 0.06	0.04 ± 0.07	0.06 ± 0.09	0.36 ± 0.51
64	150	18.0 ± 0.57	0.11 ± 0.05	0.03 ± 0.03	0.10 ± 0.07	1.97 ± 2.85
Gomera						
67	75	19.0 ± 0.36	0.21 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.17 ± 0.08	0.84 ± 0.35
68	75	19.3 ± 0.24	0.19 ± 0.10	0.09 ± 0.05	0.14 ± 0.09	0.75 ± 0.65
69	40	18.7 ± 0.00	0.17 ± 0.04	0.02 ± 0.02	0.10 ± 0.13	0.49 ± 0.63
70	75	19.3 ± 0.29	0.15 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.09 ± 0.08	0.65 ± 0.63
72	150	19.0 ± 0.38	0.17 ± 0.05	0.06 ± 0.03	0.16 ± 0.09	0.88 ± 0.40
La Palma						
74	50	19.5 ± 1.01	0.14 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.09 ± 0.03	0.63 ± 0.09
75	50	19.3 ± 0.55	0.13 ± 0.06	0.06 ± 0.04	0.19 ± 0.12	2.07 ± 1.94
76	50	18.4 ± 0.30	0.80 ± 0.28	0.33 ± 0.08	0.25 ± 0.12	0.33 ± 0.75
77	75	19.2 ± 1.13	0.25 ± 0.10	0.09 ± 0.72	0.11 ± 0.10	0.42 ± 0.36
78	150	19.7 ± 1.00	0.12 ± 0.08	0.04 ± 0.06	0.06 ± 0.07	0.41 ± 0.32
79	150	18.5 ± 0.70	0.12 ± 0.07	0.04 ± 0.03	0.11 ± 0.10	1.61 ± 2.48
El Hierro						
80	150	19.5 ± 0.64	0.13 ± 0.04	0.05 ± 0.03	0.03 ± 0.02	0.27 ± 0.14
81	150	19.2 ± 0.45	0.17 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.15 ± 0.06	0.99 ± 0.71
82	150	19.7 ± 0.13	0.22 ± 0.09	0.07 ± 0.07	0.18 ± 0.11	0.81 ± 0.15
83	150	19.2 ± 0.55	0.14 ± 0.05	0.03 ± 0.03	0.07 ± 0.06	0.50 ± 0.36
84	150	19.1 ± 0.75	0.17 ± 0.05	0.02 ± 0.02	0.14 ± 0.07	0.97 ± 0.90

TABLA II.—Valores medios de temperatura (°C) y pigmentos fotosintéticos (mg.m⁻³) en aguas litorales de las distintas islas del Archipiélago. (1) Julio 1976 (Real *et al.*, 1981), (2) Junio 1985 (Hernández-León y Miranda-Rodal, 1987), y (3) Mayo 1986 (Campaña ECOS 8605). (1) Son valores superficiales; (2) son subsuperficiales; (3) son valores promedio en la columna de agua.

	Temp. (3)	Clor. (3)	Clor. (1)	Clor. (2)	Carot. (3)	Feop. (3)
El Hierro	19.3 ± 0.25	0.16 ± 0.02	0.02	0.15	0.03 ± 0.02	0.11 ± 0.05
La Palma	19.1 ± 0.53	0.15 ± 0.06	0.01	0.22	0.06 ± 0.02	0.11 ± 0.05
Gomera	19.1 ± 0.25	0.18 ± 0.02	0.01	0.21	0.06 ± 0.03	0.14 ± 0.03
Tenerife	19.0 ± 0.52	0.17 ± 0.03	0.02	0.24	0.06 ± 0.02	0.09 ± 0.04
Gran Canaria	18.5 ± 0.60	0.19 ± 0.07	0.07	0.23	0.05 ± 0.02	0.12 ± 0.06
Fuerteventura	18.1 ± 0.60	0.19 ± 0.07	0.09	0.26	0.05 ± 0.03	0.11 ± 0.06
Lanzarote	17.9 ± 0.20	0.19 ± 0.06	0.05	0.23	0.07 ± 0.04	0.11 ± 0.06

TABLA III.—Valores medios de clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y biomasa de zooplancton ($\text{proteínas}\cdot\text{m}^{-3}$), en estaciones a barlovento o sotavento de las islas y dentro o fuera de la plataforma insular. (1) y (2) durante junio 1985 (según Hernández-León y Miranda-Rodal, 1987); (3) y (4) durante mayo 1986 (campana ECOS 8605). (1) Son valores subsuperficiales; (3) son valores promedio en la columna de agua.

	Clor. (1)	Zoop. (2)	Clor. (3)	Zoop. (4)
Est. barlovento sobre plataforma	0.25 ± 0.09	4.62 ± 3.36	0.20 ± 0.06	2.60 ± 1.57
Est. barlovento fuera plataforma	0.22 ± 0.08	1.95 ± 0.96	0.17 ± 0.04	1.69 ± 0.95
Est. sotavento sobre plataforma	0.16 ± 0.06	2.64 ± 1.32	0.18 ± 0.06	4.98 ± 4.57
Est. sotavento fuera plataforma	0.23 ± 0.11	1.27 ± 0.50	0.18 ± 0.05	2.55 ± 2.91
Valores medios	0.22 ± 0.09	2.09 ± 1.96	0.18 ± 0.05	2.62 ± 2.60

La concentración media de carotenos es, en general, baja y uniforme entre las islas (Tabla II). La presencia de algunos valores ligeramente altos es simplemente la consecuencia de concentraciones también altas de biomasa (si consideramos que la biomasa está correlacionada con la abundancia de clorofila *a*) (Tabla I). Sin embargo, los feopigmentos y, sobre todo, el índice feopigmentos/clorofila *a*, muestran valores irregulares, algunos muy elevados, de difícil interpretación. Su distribución más clara se da en las islas mejor muestreadas. En Gran Canaria, las estaciones 0, 1, 3 y 5 a sotaven-

to, y las estaciones 8 y 16 en los bordes de la isla presentan los índices más altos. También en Lanzarote y Fuerteventura y los islotes orientales, las estaciones a sotavento presentan los índices más altos, cercanos o superiores a 1.

La representación de perfiles verticales de temperatura y pigmentos en determinadas estaciones seleccionadas sobre aguas del talud nos permite apreciar algunas características interesantes (Figs. 2-4). A sotavento de Lanzarote y Fuerteventura, la capa de mezcla es reducida y el Agua Central Noratlántica ($< 18^\circ\text{C}$) penetra en la zona

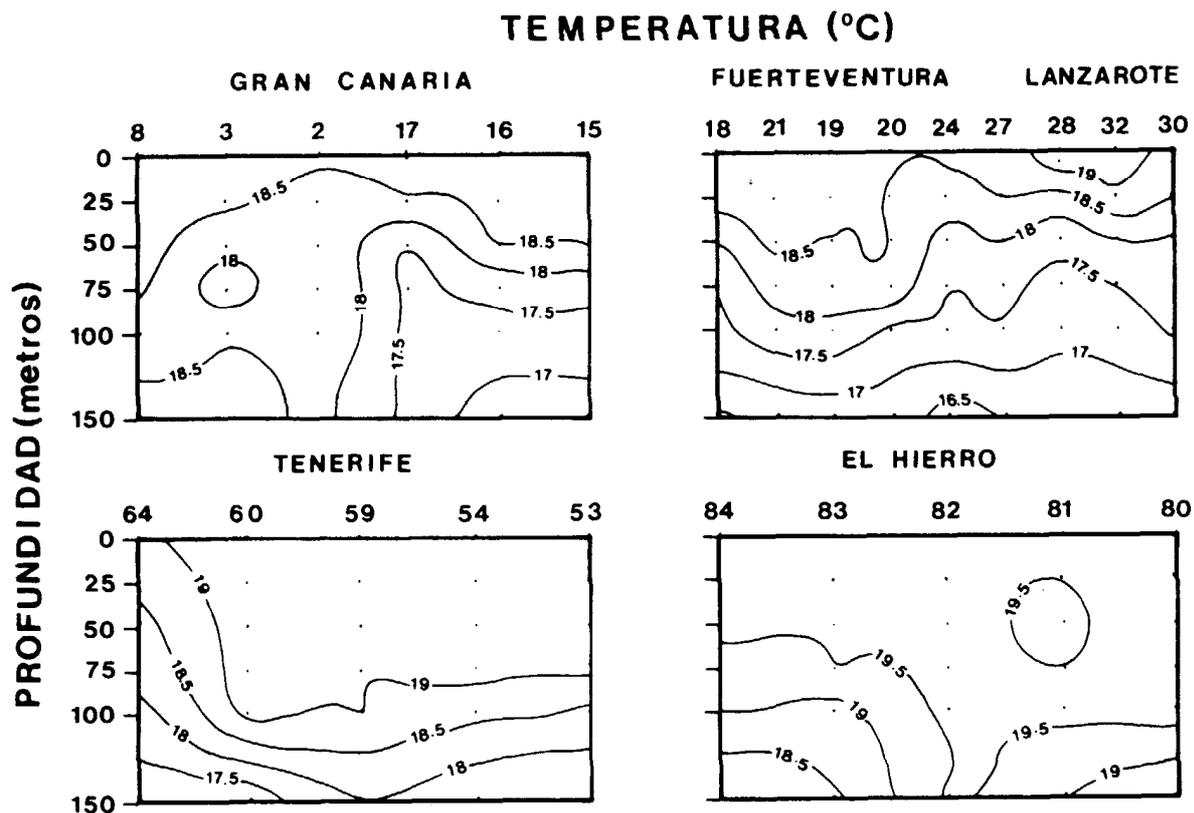


Fig. 2.—Distribución vertical de la temperatura ($^\circ\text{C}$) en sectores constituidos por estaciones elegidas al comienzo del talud (ver Fig. 1).

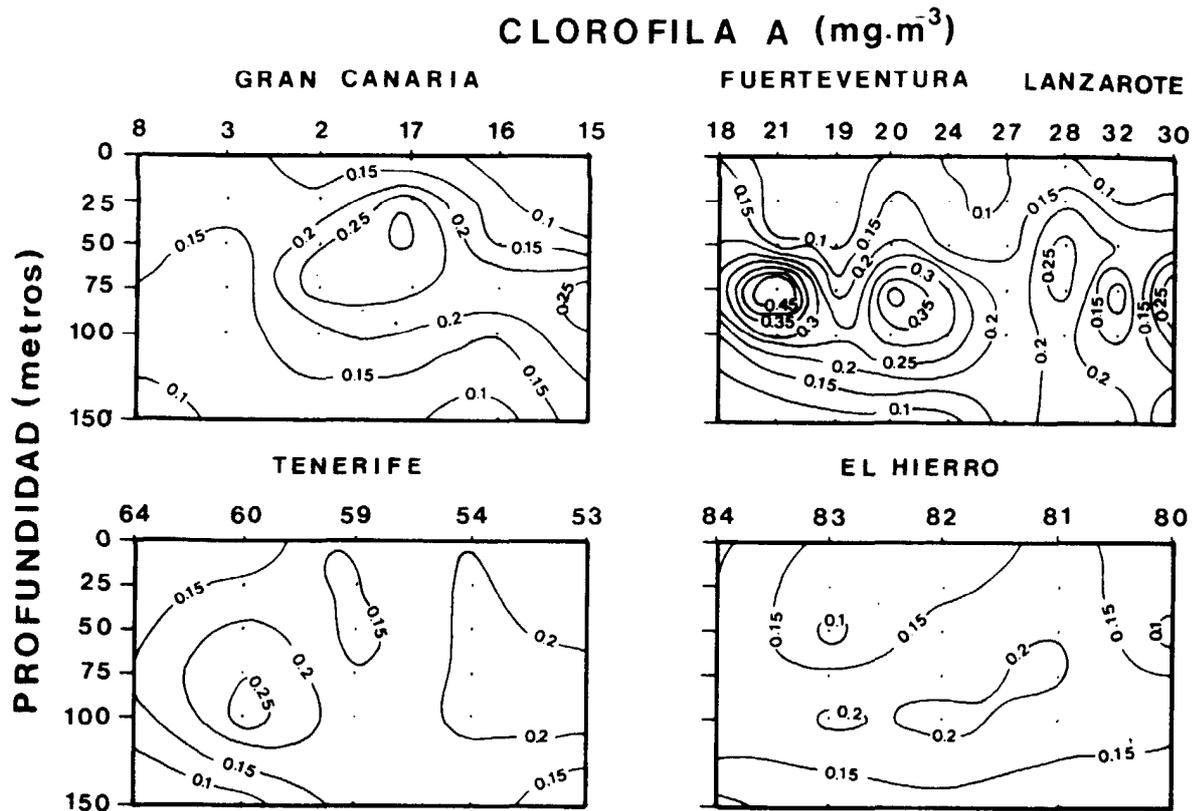


Fig. 3.—Distribución vertical de la clorofila a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en sectores constituidos por estaciones elegidas al comienzo del talud (ver Fig. 1).

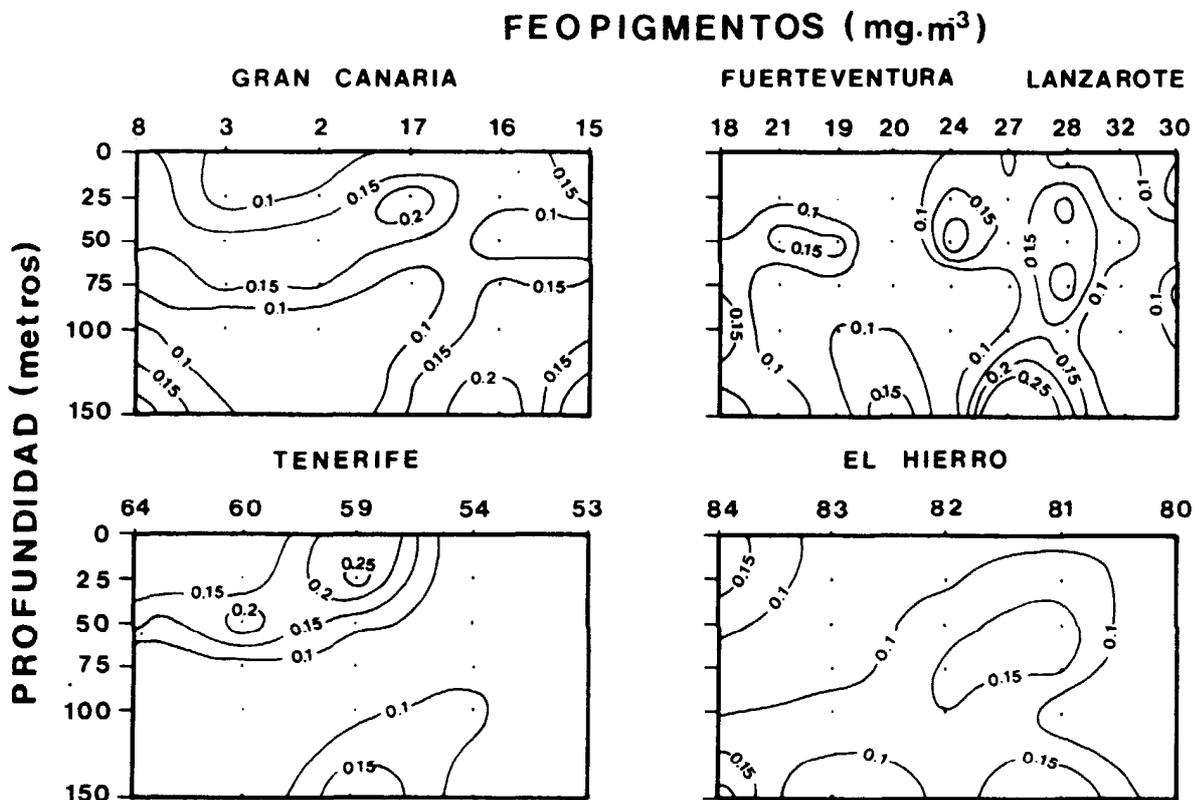


Fig. 4.—Distribución vertical de los feopigmentos ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en sectores constituidos por estaciones elegidas al comienzo del talud (ver Fig. 1).

eufótica, por encima de los 100 m, de forma continua. Paralelamente, se aprecia una distribución casi continua de la clorofila *a*, formando un máximo subsuperficial ($> 0.25 \text{ mg.m}^{-3}$) sobre los 75 m de profundidad. Por el contrario, las islas más occidentales, como Tenerife o El Hierro, están bordeadas, sobre todo en los sectores sur, por aguas más cálidas con capas de mezcla profundas y máximos de clorofila más débiles y peor definidos. La distribución más heterogénea se presenta en la isla de Gran Canaria. Las estaciones 15 y 16, al este de la isla, muestran perfiles de clorofila y temperatura similares a los encontrados en Lanzarote y Fuerteventura, mientras que los de las estaciones 2, 3 y 8, al sur y oeste, se asemejan más a los de las islas occidentales. El punto de transición entre estas dos situaciones se presenta entre las estaciones 17 y 2, donde se observa un frente definido tanto en la estructura térmica de la columna de agua como en el máximo subsuperficial de clorofila. Es interesante apreciar la inversión térmica que se produce en la estación 3, entre 75 y 100 m de profundidad, y que también se encontró en las estaciones adyacentes: la 8 (entre 100 y 150 m), la 5 (entre 25 y 35 m) y la 6 (entre 25 y 50 m); todas ellas al suroeste de Gran Canaria. Los feopigmentos no forman máximos tan claramente definidos como la clorofila *a*, ya que su presencia depende en gran medida de la acción de pastaje del zooplancton. Sin embargo, en las estaciones donde son más abundantes parecen formar un máximo subsuperficial y otro más profundo (Fig. 4). Estas estaciones (8, 17, 16, 27, 28, 59 y 81) están localizadas, por lo general, en los bordes de las islas, donde el viento y la corriente sufren aceleraciones, la mezcla en la columna de agua es más intensa y el zooplancton es más activo (Aristegui *et al.*, en prensa).

DISCUSION

Los valores medios de clorofila *a* obtenidos en este trabajo son superiores a los hallados en el Archipiélago por Real *et al.* (1981) durante el mes de julio, pero inferiores con respecto a los que Hernández-León y Miranda-Rodal (1987) encuentran en ju-

nio (Tabla II). En los tres casos, los valores son bajos y característicos de áreas subtropicales; sin embargo, existen diferencias apreciables entre los tres grupos de resultados que deben interpretarse con cautela. Por un lado, tanto Real *et al.* (op. cit.) como Hernández-León y Miranda-Rodal (op. cit.) llevaron a cabo las estimaciones de pigmentos a partir de muestras superficiales o casi superficiales, mientras que nuestros datos representan valores medios obtenidos de la columna de agua. Si tenemos en cuenta que durante una gran parte del año (incluyendo junio y julio) el agua está estratificada y el fitoplancton tiende a concentrarse en profundidad (De León y Braun, 1973; Braun y Real, 1981; Aristegui *et al.*, en prensa), podemos suponer que los valores medios en la columna de agua durante la época que muestrearon los autores anteriores serían ligeramente superiores a los que se citan. Por otro lado, los altos índices de feopigmentos que aparecen en muchas de las estaciones de la campaña ECOS 8605 (Tablas I y II) (sin duda reflejo de la actividad consumidora del zooplancton los meses anteriores) probablemente nos indiquen que estamos sobreestimando los valores absolutos de clorofila *a*, al utilizar las ecuaciones tricromáticas para su cálculo. Es también necesario tener en cuenta que la distribución temporal de la clorofila *a* durante el ciclo anual en Canarias no siempre es constante, sino que muestra variaciones que pueden llegar a ser importantes durante determinadas épocas. Estas variaciones, aunque en cierto modo son el resultado de la eutrofización de la capa fótica, no reflejan una relación directa entre la concentración ambiental de nutrientes y la de clorofila.

La relación más evidente se manifiesta entre la clorofila *a* y la biomasa de zooplancton. Pero esta relación no siempre es directa. Como se puede observar en las gráficas obtenidas a partir de datos tomados de un estudio realizado al noreste de Tenerife (Fig. 5) (Fernández de Puellas, 1986; Fernández de Puellas y Braun, 1989), la correlación es muy buena durante los meses de máxima estratificación de la columna de agua (agosto-diciembre), cuando las poblaciones de fito- y zooplancton están limitadas por el alimento. Sin embargo, esta relación se invierte durante la época «productiva»

(febrero-mayo). El estrecho acoplamiento entre productores y consumidores del plancton (período de retardo corto) impide crecer de una forma exuberante las poblaciones de fitoplancton. La época de florecimiento primaveral es breve y raramente se pueden registrar valores de clorofila altos (De León y Braun, 1973), puesto que el zooplancton rápidamente controla el crecimiento del fitoplancton. Precisamente una de las épocas en las que podemos encontrar valores de

clorofila más bajos es entre marzo y mayo, cuando el agua aún no está completamente estratificada, la producción primaria es todavía relativamente alta, y la biomasa de zooplancton alcanza sus cotas más altas (Hernández-León *et al.*, 1984; Fernández de Puelles, 1987; Arístegui *et al.*, en prensa). Después de mayo la abundancia de zooplancton disminuye rápidamente (Fernández de Puelles, 1987), lo que permite a las poblaciones de fitoplancton recuperarse antes de volver

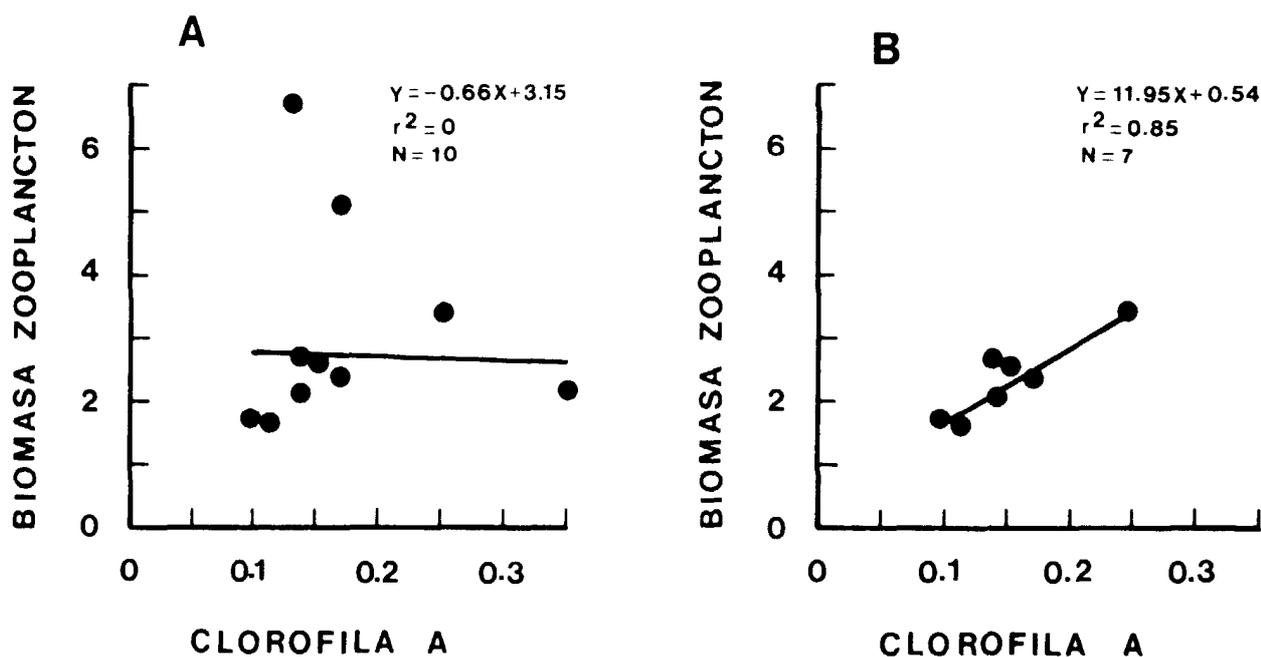


Fig. 5.—Relación entre la clorofila *a* y la biomasa de zooplancton (expresada como $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de peso seco), durante diferentes meses del año. (A) Marzo, mayo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre; (B) Agosto, octubre, noviembre y diciembre. Datos tomados de Fernández de Puelles (1986). (Ver explicación el texto.)

a decrecer, esta vez limitadas también por las bajas concentraciones de nutrientes en la columna de agua. La estrecha sincronización en la dinámica de los ciclos de biomasa de fito- y zooplancton nos ayuda a explicar las diferencias que encontramos en los valores de clorofila de las Tablas II y III. En mayo, tras el pico de zooplancton los valores de clorofila son inferiores a los encontrados en junio, cuando la abundancia de consumidores ha decrecido ya notablemente. En julio, época en que la termoclina está bien desarrollada y las concentraciones de nutrientes son bajas, el crecimiento de fitoplancton está aún más limitado. El gradiente de aumento de clorofila hacia las islas más orientales (las más cercanas al afloramiento y consecuentemente las menos oli-

gotróficas) se aprecia mejor en julio, cuando la concentración de fitoplancton es inferior y supuestamente el control por el zooplancton también. En mayo, estas diferencias también se observan, sobre todo en los perfiles verticales de clorofila y temperatura, donde el máximo subsuperficial de clorofila *a* es una característica más acentuada y constante en las islas orientales que viene asociada a aguas más frías y supuestamente más ricas en nutrientes (Fig. 3). Sin embargo, y al contrario de lo que ocurre con el zooplancton (Hernández-León y Miranda-Rodal, 1987), no hay diferencias importantes en la concentración de clorofila entre estaciones a barlovento y sotavento de las islas y dentro o fuera de la plataforma.

Desgraciadamente no podemos tomar la

concentración de clorofila *a* como un índice fiable de la productividad de un área y/o una época determinada en Canarias, pues a menudo la biomasa que se refleja es simplemente lo que el zooplancton herbívoro no ha consumido, al margen de la actividad metabólica de las propias células fitoplanctónicas. Y aún más grave, podemos llegar a obviar determinados procesos oceanográficos locales que pueden ser causa de incrementos importantes de la productividad primaria. En los últimos años, la teledetección ha contribuido poderosamente a descubrir que la estructura hidrológica del área de Canarias es mucho más compleja de lo que se suponía. Filamentos de agua fría y mayor contenido en clorofila, procedentes del afloramiento africano, afectan en determinadas épocas del año al área de Canarias (Nykjaer *et al.*, 1986; Van Camp y Nykjaer, 1988; Hernández-Guerra y Cantón, com.pers.). Pero también, dentro del Archipiélago, se producen perturbaciones en los regímenes de vientos y de corrientes, debido a la presencia de las Islas, que pueden provocar cambios en la estructura de la columna de agua e incrementos importantes en la productividad de determinadas áreas costeras u oceánicas (Hernández-León, 1988). Estos procesos, al contrario de los filamentos del afloramiento, no siempre se manifiestan como incrementos en la concentración de clorofila, ya que el zooplancton controla la abundancia de las células de fitoplancton. Por ejemplo, las acumulaciones de peces pelágicos costeros a sotavento de las islas, halladas durante la campaña ECOS 8605, se corresponden perfectamente con la distribución de las manchas de zooplancton (Bordes *et al.*, 1987), pero no así con la clorofila *a*. En un trabajo anterior (Arístegui *et al.*, en prensa), se describieron concentraciones similares de zooplancton a sotavento de la isla de Gran Canaria, asociadas a valores de clorofila bajos, pero índices de productividad altos.

Aunque la clorofila nos pueda llegar a reflejar con mayor o menor fidelidad la biomasa de fitoplancton de un ecosistema en un momento determinado, no deja de ser sino un fotograma de una película cuya acción nos pasará a menudo inadvertida si no estimamos paralelamente la producción primaria y el consumo por el zooplancton. Los

resultados obtenidos recientemente (tanto de observaciones *in situ* como de interpretación de imágenes de satélite) tienden a confirmar la idea de que en el Archipiélago Canario hay áreas, tanto oceánicas como costeras, con una productividad relativamente alta. Estas áreas estarían influenciadas por distintos tipos de fenómenos hidrodinámicos que favorecerían la eutrofización de la capa fótica y el crecimiento del fitoplancton; pero sólo se podría reflejar bien este incremento de productividad como biomasa acumulada en los niveles tróficos de los consumidores, debido al control tan eficaz que éstos ejercen sobre las poblaciones de autótrofos. Un ejemplo de estos fenómenos, y que actualmente está en vías de estudio, lo constituye la presencia de un gran remolino ciclónico situado al suroeste de Gran Canaria, cuyos bordes penetran en la plataforma de la isla, produciendo las inversiones térmicas en los perfiles verticales de temperatura citadas anteriormente (ver Fig. 2).

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a Fernando Bordes, por invitarme a participar en la campaña ECOS 8605, y a todos mis compañeros de barco; especialmente al Dr. Santiago Hernández-León, que me ha permitido utilizar sus datos de zooplancton en este trabajo. El Dr. Hernández - León, el Dr. Manuel Cantón y A. Hernández-Guerra han hecho una revisión crítica del manuscrito. Alicia Ojeda y Lidia Medina han colaborado en los análisis de las muestras.

BIBLIOGRAFIA

- ARÍSTEGUI, J.; S. HERNÁNDEZ-LEÓN; M. GÓMEZ; L. MEDINA; A. OJEDA, y S. TORRES. (En prensa). Influence of the North Trade Winds on the biomass and production of neritic plankton around Gran Canaria Island, *Scient. Mar.*, 53(2-3).
- BRAUN, J. G., y F. REAL. 1981. Algunas comparaciones entre el nanoplancton y el fitoplancton de red en aguas de las Islas Canarias, *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 6(1): 107-115.
- BORDES, F., y OTROS. 1987. *Prospección hidroacústica para la evaluación del stock de peces pelágicos costeros*

- de Canarias. Informe, Gobierno Autónomo de Canarias y Excmo. Cabildo Insular de G. C., 95 pp.
- DE LEÓN, A. R., y J. G. BRAUN. 1973. Ciclo anual de la producción primaria y su relación con los nutrientes en aguas canarias, *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 167: 1-24.
- FERNÁNDEZ DE PUELLES, M. L. 1986. *Ciclo anual de la comunidad de meso y microzooplancton; su biomasa, estructura, relaciones tróficas y producción en aguas de Canarias*. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Madrid, 275 pp.
- FERNÁNDEZ DE PUELLES, M. L. 1987. Evolución anual del microzooplancton en aguas de las Islas Canarias, *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 4(2): 79-91.
- FERNÁNDEZ DE PUELLES, M. L., y J. A. GARCÍA-BRAUN. 1989. Dinámica de las comunidades planctónicas en una zona del Atlántico Subtropical (Isla de Tenerife), *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(2): 87-100.
- GORDON, H. R., y A. MOREL. 1983. *Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery. A review*. Lecture notes on Coastal and Estuarine Studies, n.º 4. Springer-Verlag, New York.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S. 1988. Gradients of mesozooplankton biomass and ETS activity in the wind-shear area as evidence of an island mass effect in the Canary Island waters, *J. Plankton Res.*, 10(6): 1141-1154.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S., y D. MIRANDA-RODAL. 1987. Actividad del sistema de transporte de electrones y biomasa del mesozooplankton en aguas de las Islas Canarias, *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 4(2): 49-62.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; O. LLINAS, y J. G. BRAUN. 1984. Ciclo anual de la biomasa del mesozooplankton en aguas de Canarias, *Inv. Pesq.*, 48(3): 495-508.
- HOLM-HANSEN, O. 1978. Chlorophyll *a* determination: improvements in methodology, *Oikos*, 30(3): 438-477.
- JEFFREY, S. W., y G. F. HUMPHREY, G. F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c1* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167: 191-194.
- LAURS, R. M.; P. C. FIEDLER, y D. R. MONTGOMERY. 1984. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites, *Deep-Sea Res.*, 31(9): 1085-1099.
- LIUM, B. W., y W. T. SHOAF. 1978. The use of magnesium carbonate in chlorophyll determinations, *Water Res. Bull.*, 14(1): 190-194.
- LORENZEN, C. J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations, *Limnol. Oceanogr.*, 12: 343-346.
- MOREL, A., y L. PRIEUR. 1977. Analysis of variations of ocean colour, *Limnol. Oceanogr.*, 22: 709.
- NYKJAER, L.; L. VAN CAMP, y N. HOJERSLEV. 1986. *Remote sensing of the northwest african upwelling area*. Technical report, Coop. Joint Research Centre, Ispra and Institute of Geophysics, Univ. Copenhagen, 2 vols.
- VAN CAMP, L., y L. NYKJAER. 1988. *Remote sensing of the northwest african upwelling area*. Internal technical report, Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Ispra.
- PARSONS, T. R.; Y. MAITA, y C. M. LALLI. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press. Oxford, 173 pp.
- REAL, F.; J. D. DE ARMAS, y J. G. BRAUN. 1981. Distribución espacial de la clorofila *a* y del carbono orgánico particulado en aguas costeras superficiales de las Islas Canarias, *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 6(1): 107-115.
- RIEMANN, B. 1980. A note on the use of methanol as an extraction solvent for chlorophyll *a* determination. En: *The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods*. (H. Rai, ed.). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 70-79.
- SAND-JENSEN, K. 1976. A comparison of chlorophyll *a* determinations of unstored and stored plankton filters extracted with methanol and acetone, *Vatten*, 4: 337-341.

Manuscrito recibido en abril de 1990