

Seston superficial de la zona de afloramiento del NW de Africa.

JORDI FLOS

Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona

INTRODUCCIÓN

En los meses de abril y mayo de 1974 se realizó la campaña oceanográfica Atlor V, a bordo del B/O Cornide de Saavedra, frente a las costas del Sáhara Occidental. La zona recorrida en aquella ocasión se redujo a la comprendida entre el cabo Bojador y el cabo Blanco. La distribución de las isotermas superficiales de la figura 1 da idea de la situación del afloramiento en aquella época. Los datos para la confección de la misma se obtuvieron con un sensor alojado a la entrada de la toma de agua del barco y corresponden al primer trayecto Norte-Sur (7 al 21 de abril). Se puede observar que existían dos focos principales de afloramiento pegados a la costa, uno situado algo por encima del paralelo 25° y otro algo al sur del paralelo 22°. La corriente principal en la zona es la de Canarias, que va hacia el sur, pero posee fluctuaciones no bien conocidas. Los vientos dominantes de componente norte a nordeste (persistentes desde abril a octubre con fuerzas de 10 a 20 nudos) son seguramente los principales responsables del afloramiento, aunque cabe también la posibilidad de que otro factor importante sea la topografía del fondo (CRUZADO, 1974, 1975, 1976).

En los mapas que se incluyen sólo se han representado los datos del primer trayecto, pues el muestreo en sentido contrario se detuvo antes de llegar al paralelo 25°. La imagen ofrecida en los mismos está deformada por el tiempo, ya que las muestras extremas están separadas por 2 semanas. El sobrepone en un mismo gráfico los datos de

uno y otro recorrido da lugar a innumerables contradicciones, aunque por separado las imágenes de conjunto son coherentes. Es de señalar que a la altura de Punta Durnford se realizó una estación de 24 horas, lo que motivó una separación temporal algo

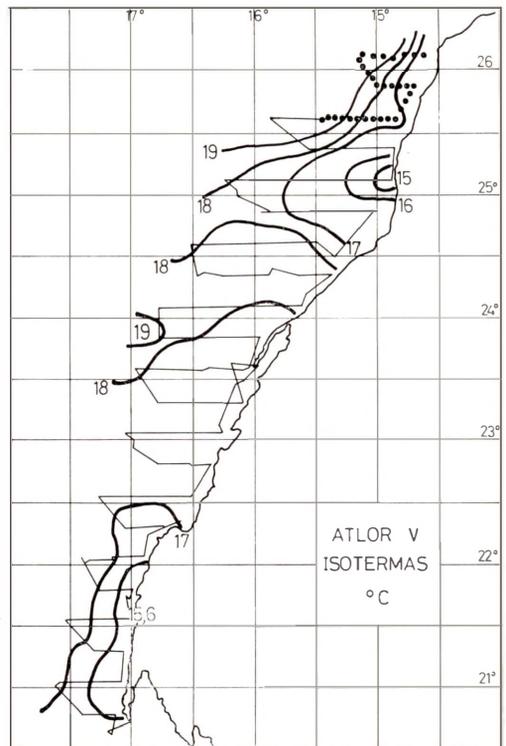


FIG. 1. — Mapa de isotermas superficiales de la zona estudiada entre los días 7 y 21 de abril de 1974. El recorrido del barco está indicado por la línea quebrada. Los círculos negros indican una parte del recorrido para el que no se poseen datos de contador Coulter.

mayor de lo acostumbrado entre las muestras anteriores y posteriores a dicha estación. Ello contribuyó particularmente a que las muestras superpuestas entre el paralelo 23° 10' y la Punta Durnford (23° 36') presentasen algunas contradicciones. Los datos de la campaña Atlor V han sido publicados por BAS y CRUZADO (1976) y MANRÍQUEZ, RUBIÉS y CRUZADO (1976).

Los datos analizados en este trabajo se refieren a una serie de muestras tomadas a intervalos de media hora durante el recorrido del barco entre estaciones. A la velocidad de 6 a 8 nudos ello representa una distancia de unas 3 a 4 millas entre cada dos muestras consecutivas. Dicho muestreo permite detectar estructuras del orden de las 15 a 30 millas. Dada la estructura general del afloramiento del NW de África (por su tamaño y tiempo de permanencia), la frecuencia de muestreo indicada parece adecuada para un estudio de conjunto.

DATOS ORIGINALES

De cada muestra de agua se filtraban 5 litros sobre un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C de 5,5 cm de diámetro para el análisis de pigmentos, se hacía un recuento de partículas de seston con el Coulter (modelo TA) y se fijaban unos 125 cm³ con lugol para un eventual recuento de fitoplancton en tierra (se guardaban a la oscuridad en botellas de tapón de rosca). La clorofila *a* se estimó mediante la fórmula de RICHARDS y THOMPSON (1952) usando las lecturas del espectrofotómetro de los extractos metanólicos. El modelo TA (Coulter) se usó en las siguientes condiciones:

| | |
|--------------------------|-------------------|
| Orifice Diameter | 140 μm |
| Size Calibration | 150 |
| Aperture Matching Switch | 4 ma |
| Aperture Current | POS |
| Preamp Step Gain | 1 |
| Mode | Volume |
| Active Channels | 15-2 |
| Sampling | Time (30 s) |
| Scope Display | DIF |
| Display Gain | AUTO |

Se calibró el aparato con bolitas de látex y polen de *Lycopodium*, resultando los in-

tervalos de tamaño de partículas (diámetro de la esfera del mismo volumen) de la tabla 1. La cantidad de muestra analizada era dos veces 2,57 cm³.

Tabla 1.—En la primera columna se dan los números de código para las distintas variables. En la segunda el número de orden del canal correspondiente en el Coulter mod. TA. En la tercera columna se da el diámetro medio para las partículas de cada intervalo o canal en μm . Dicho diámetro es el que tendría una esfera con el mismo volumen que la partícula medida. En la cuarta columna se dan los volúmenes medios para cada canal en μm^3 .

| Variable | Canal | Diámetro | Volumen |
|----------|----------------------------|----------|-----------|
| 1 | 2 | 2,5 | 8,37 |
| 2 | 3 | 3,2 | 16,74 |
| 3 | 4 | 4,0 | 33,48 |
| 4 | 5 | 5,0 | 66,96 |
| 5 | 6 | 6,3 | 133,92 |
| 6 | 7 | 8,0 | 267,84 |
| 7 | 8 | 10,0 | 535,68 |
| 8 | 9 | 12,7 | 1071,36 |
| 9 | 10 | 16,0 | 2142,72 |
| 10 | 11 | 20,2 | 4285,44 |
| 11 | 12 | 25,4 | 8570,88 |
| 12 | 13 | 32,0 | 17141,76 |
| 13 | 14 | 40,3 | 34283,52 |
| 14 | 15 | 50,8 | 68567,04 |
| — | 16 | 64,0 | 137134,08 |
| 15 | Clorofila <i>a</i> | | |
| 16 | Número total de partículas | | |

Los datos obtenidos directamente del aparato son los porcentajes en volumen de las partículas para cada uno de los canales (intervalos de tamaño) y el número total de partículas contadas. Una de las principales fuentes de error o incertidumbre reside en el tipo de distribución por tamaños de las partículas en suspensión en el mar. Las pequeñas son las más abundantes, disminuyendo su número a medida que el tamaño aumenta. La distribución se ajusta bastante bien a una curva hiperbólica: $N = k x^{-c}$, donde N es el número de partículas mayores que el diámetro x , y k y c son constantes (BADER, 1970). El hecho de que las pequeñas abundan mucho más que las grandes (SHELDON y PARSONS, 1967) hace que estadísticamente sean mejores los contajes para las primeras que para las segundas. Expresando gráficamente en ordenadas el volumen de las partículas (porcentaje del total del volumen de seston contado) para cada uno de los inter-

valos de tamaños, y en abscisas los intervalos (escala logarítmica de diámetros), se ponen en evidencia las desviaciones que presenta la distribución real de la tendencia general teórica expresada por una curva hiperbólica o por una recta tomando logaritmos.

De las 612 muestras recogidas se desecharon 34 por carecer de algún dato o no ser fiable alguno de los análisis realizados. Algunas de las muestras desechadas pertenecientes a la zona muestreada más septentrional posiblemente fueran similares a las descritas por SHELDON *et al.* (1972) como características de aguas superficiales subtropicales. En los mapas se hallan indicados los puntos donde se tomaron las muestras. Los círculos vacíos corresponden a las que no fueron usadas en el análisis de las componentes principales pero sí en la confección de las figuras 2 a 4.

Partículas (fig. 2): Se observa que los máximos están sobre la plataforma cerca de la



FIG. 2. — Distribución espacial de la concentración de partículas en suspensión. Se dan los valores en miles de partículas por cm^{-3} .

costa. Generalmente las partículas pequeñas contribuyen más al número total de partículas que al volumen total de seston. Las zonas rayadas corresponden a las muestras con más de 15 000 partículas por ml (recuérdese que las partículas contadas son de 2,5 a 80 μm de diámetro medio).

Volumen (fig. 3): Están rayadas las zonas con más de 2 ppm. Los máximos se hallan algo fuera de la plataforma en el paralelo 25°, mientras que por debajo de los 21° N hay un máximo cerca de la costa en aguas poco profundas.

Clorofila a (fig. 4): Los máximos están relacionados con el afloramiento de aguas profundas, pero se hallan fuera del talud.

Observando conjuntamente la distribución de las tres variables citadas, se observa que al S del paralelo 21° y cerca de la costa hay gran cantidad de partículas con un volumen total alto, mientras que la clorofila es relativamente baja. En el paralelo 25° se obser-

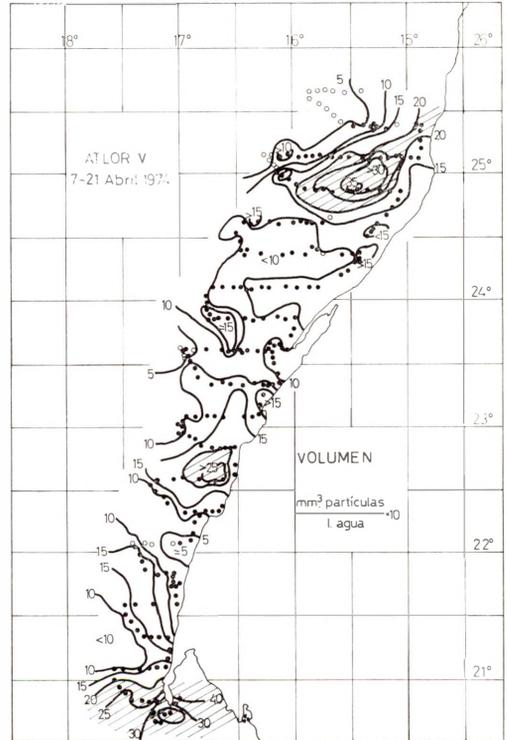


FIG. 3. — Distribución espacial del volumen del seston en ppm multiplicado por 10.

va que la zona con un volumen alto de seston coincide con el máximo de clorofila. Se intuye de ello que la contribución del fitoplancton (seguramente en fase de crecimiento) al volumen total de seston es mayor en esta última zona, así como en la parte más alejada de la costa, al sur del cabo Blanco. El volumen medio de las partículas (calculado dividiendo el volumen total por el número de partículas contadas) tiene sus máximos en zonas alejadas de la costa. La clorofila por partícula tiene su máximo alrededor de los 25° N- 16° W, con más de $0,50 \mu\text{g}$ de Clor $a \times 10^{-6}$ partículas, y la clorofila a por unidad de volumen de seston se halla aproximadamente por la misma zona con valores de más de 3 mg de Clor $a \times \text{cm}^{-3}$ de material particulado.

ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES PRINCIPALES

A cada muestra de agua le corresponde un grupo de 17 números reales, y para el análisis

de las componentes principales se tomó cada una de dichas medidas como una variable. El porcentaje en volumen para cada clase de partículas, el número de partículas y la clorofila siguen aproximadamente una distribución lognormal. Por ello se aplicó una transformación logarítmica a los datos originales. El canal 16 no se usó en el análisis por el elevado número de ceros que presentaba. Se aplicó el análisis de las componentes principales a la matriz de correlaciones de las 16 variables restantes transformadas. Todos los trabajos en ordenador se realizaron en el «IBM-1130» del Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona. El programa utilizado fue el del SSP de IBM.

Resultaron 4 ejes principales con valores propios mayores de 1, explicando en total el 78,3 % de la varianza. Las variables se hallan representadas respecto a los 4 ejes principales de la figura 5 y los coeficientes de correlación de las variables con las componentes se dan en la figura 6.

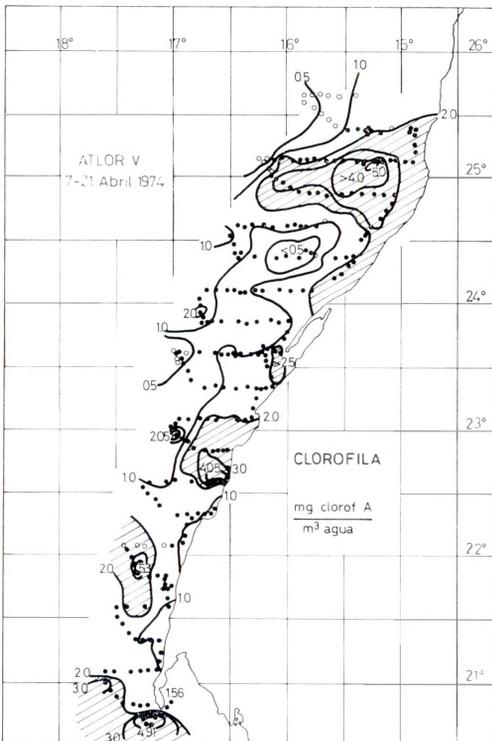


FIG. 4.—Distribución espacial de la concentración de clorofila a , dado en mg de Clor $a \times \text{m}^{-3}$.

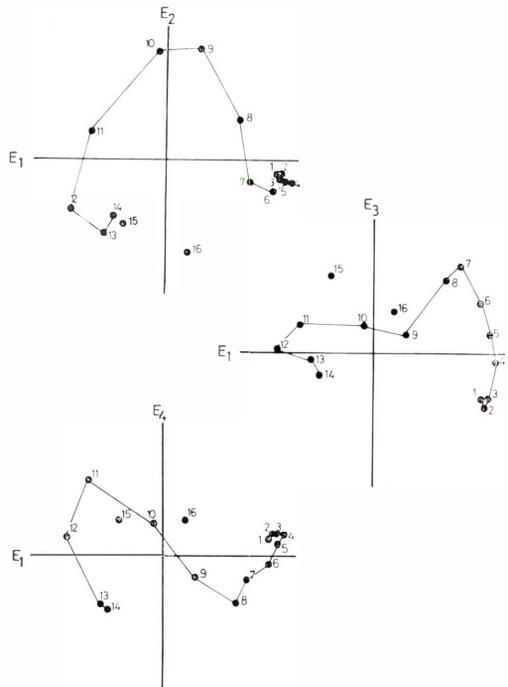


FIG. 5.—Situación en el espacio de los ejes principales de las variables usadas en el análisis de las componentes principales, utilizando como coordenadas los coeficientes de carga respectivos.

Las variables que corresponden a los porcentajes en volumen para los canales del contador de partículas Coulter están correlacionadas positivamente cada una de ellas con las contiguas (ordenadas por límites crecientes de los intervalos de tamaño de las partículas que representan). Ello determina la forma general de distribución de las variables en el espacio de los ejes principales. Es posible que este fenómeno, similar al encontrado por ESTRADA y VALLESPINÓS (1976) para un análisis de datos de espectros de absorción de extractos de pigmentos, sea parecido al efecto Guttman (BENZECRI, 1971) para el análisis de las correspondencias, o a lo hallado por SWAN (1970) y NOY-MEIR y AUSTIN (1970) en problemas relacionados con el muestreo en botánica y ecología terrestre. Experimentos y simulaciones realizados en el ordenador han mostrado que el análisis de las componentes principales aplicado a matrices de correlaciones de datos de tipo espectral como los presentes es útil para resumir la información, aunque se debe tener en cuenta la existencia del «contagio» entre variables consecutivas para interpretar correctamente la disposición de las variables en el espacio de los ejes principales.

Componente 1: Explica el 40,5 % de la varianza. El primer eje da cuenta del tamaño de las partículas y está condicionado por lo que antes hemos llamado contagio entre las variables consecutivas. En los extremos positivo y negativo del mismo quedan situadas respectivamente las partículas peque-

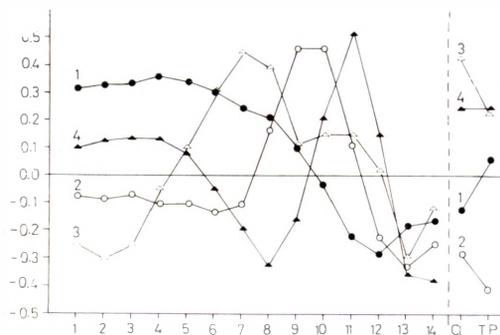


FIG. 6.— Coeficientes de correlación entre las variables del análisis y las componentes principales. Los números se corresponden con los del cuadro 1, mientras que CI se refiere a la clorofila (variable 15) y TP al número total de partículas (variable 16).

ñas y grandes. Parece que las primeras contribuyen especialmente al número total de partículas (variable 16), mientras que las mayores están relacionadas con la clorofila.

La primera componente caracteriza el seston en determinadas zonas cercanas a la costa donde abundan las partículas pequeñas y en las que el número total de partículas es alto pero la clorofila baja. En general, los máximos valores de esta componente (los llamados *scores*) se superponen con los de la concentración de partículas (fig. 7).

Componente 2: Explica el 18,9 % de la varianza. Da cuenta del comportamiento especial de los canales intermedios (partículas de 14 a 22 μm de diámetro medio). En la figura 8, correspondiente a dos filas de la matriz de correlación, se puede ver que las partículas intermedias están correlacionadas negativamente con la clorofila y con el número total de partículas. Los máximos valores para la componente 2 están situados en



FIG. 7.— Distribución espacial de los valores de las tres primeras componentes usando los valores de la componente para cada muestra (*scores*). Están rayadas las zonas con valores mayores de 1.

sentido paralelo a la costa y en alta mar (figura 7). Es posible que dicha componente caracterice al seston de aguas oceánicas, seguramente pobres en nitratos y fosfatos. Las partículas de las variables 9 y 10 posiblemente estén presentes en la mayoría de masas de agua superficial estudiadas en proporciones poco variables, lo que, por un fenómeno de desenmascaramiento (poca clorofila y pocas partículas totales), haría aparecer en la citada zona los máximos de la componente 2. Dichas variables (9 y 10) corresponderían a partículas características (en volumen) de un «seston de base» típico de la zona, sobre el que se desarrollarían los distintos «blooms» de flagelados y diatomeas.

El comportamiento especial de las partículas de tamaños intermedios se encuentra también en un trabajo de KITCHEN *et al.* (1975) y otro de ESTRADA y VALLESPINÓS (1975). En el primero se estudia mediante los vectores característicos el seston de una zona de afloramiento costero en que se midieron con el Coulter las partículas en suspensión entre 8 y 105 μm de diámetro. Entre otros resultados, puede verse que el primero de los vectores característicos considerados tiene dos máximos alrededor de los 8 y de los 23 μm (que corresponderían a las variables 6 y 10-11 de nuestro análisis) y muestra un mínimo alrededor de los 15 μm (que correspondería a nuestra variable 9 aproximadamente). El mínimo significa que dichas partículas contribuyen proporcionalmente menos que las de tamaños adyacentes en el volumen total. En cuanto al segundo trabajo, se trata de unas correlaciones entre las partículas contadas con el Coulter y los recuentos de diatomeas, dinoflagelados, clorofila *a* y carbono y nitrógeno particulados, en muestras «ricas» y «pobres» de la zona de afloramiento del NW de África. En dicho trabajo, los 3 intervalos correspondientes a los tamaños mayores considerados en el Coulter modelo ZB (MARGALEF, 1974) tenían 13,7, 22,0 y 34,6 μm de diámetro medio. Para las estaciones «ricas» (con más de 2 mg de Clor $a \times \text{m}^{-3}$, valor integrado entre 0 y 50 m), ESTRADA y VALLESPINÓS encuentran una correlación alta de las partículas de 13,7 y 34,6 μm de diámetro medio con la clorofila, las diatomeas y el nitrógeno y carbono particulados, mientras que dicha correlación es baja para las de 22 μm

de diámetro medio. Para las estaciones «pobres» y para la correlación con los dinoflagelados también hay un mínimo en el intervalo de las partículas de 22 μm de diámetro medio.

Componente 3: Explica el 11,58 % de la varianza. Parece que es la componente más directamente ligada al fitoplancton. Está correlacionada positivamente con la clorofila y con las partículas de diámetros comprendidos entre 7 y 27 μm (especialmente con las comprendidas entre 7 y 14 μm). Con respecto a los máximos de la componente 1, los de la 3 están desplazados al sudoeste, en la misma dirección en que sopla el viento dominante. Siendo la corriente principal hacia el sur y al existir una componente superficial perpendicular a la costa y hacia alta mar, parece lógico pensar que el seston caracterizado principalmente por la tercera componente tiene su origen en las zonas donde la primera tiene sus máximos. En cuanto al seston del sudoeste de cabo Blanco, parece que es distinto al de cualquier otra zona del área estudiada.

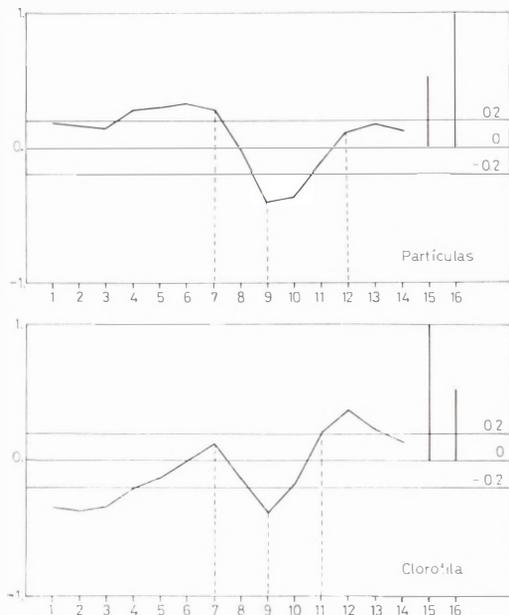


FIG. 8.— Coeficientes de correlación entre el logaritmo de la clorofila y el logaritmo de la concentración de partículas, con las demás variables del análisis (logaritmo del porcentaje en volumen para cada canal). Aunque se han señalado los niveles correspondientes a 0,2 son significativos los coeficientes por encima de 0,14 en valor absoluto.

Componente 4: Explica el 7,3 % de la varianza. Parece indicar situaciones en que la variable 10 va asociada a las 11, 12 y 15, mientras que la 9 lo está a las 8 y 7.

ANÁLISIS DE GRUPOS

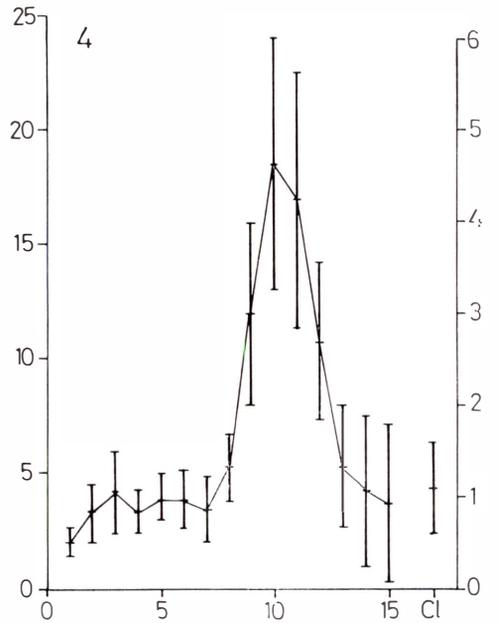
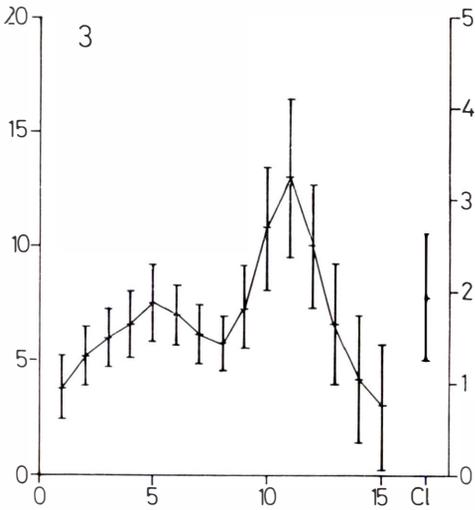
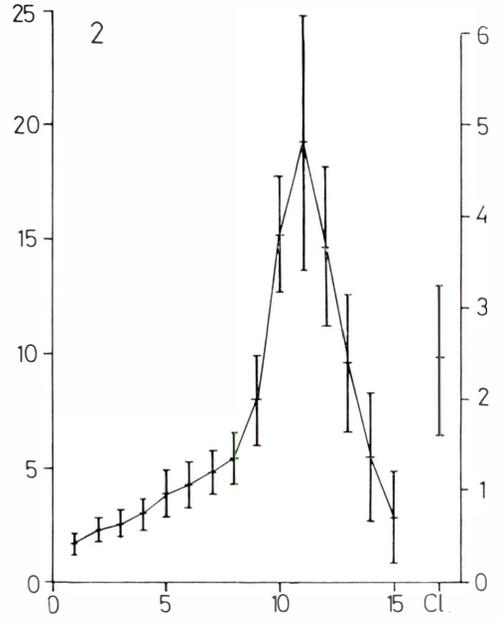
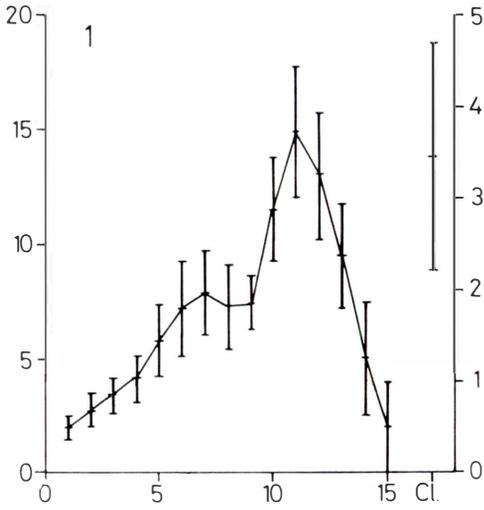
Se diseñó un programa para el ordenador «IBM-1130» que partiendo de los datos transformados a los 4 valores de las componentes principales, agrupa las muestras en clases distintas. El método es simple y durante la ejecución del programa interviene directamente el analista a través de la consola. El programa reparte los vectores en tantos grupos como centros iniciales se dan y se usa la distancia euclídea. El sistema es iterativo y a cada vuelta calcula los nuevos centros de gravedad de los grupos formados, minimizando la varianza dentro de ellos (comparando varianzas). La única originalidad del programa reside en la existencia de una franja de anchura variable colocada entre cada dos centros de los grupos formados y cuyos puntos interiores no son adjudicados a ninguno de ellos y por lo tanto no se usan para calcular el nuevo centro. El analista indica su anchura (en porcentaje de distancia entre los centros) a través de la consola a cada iteración. Si lo desea también puede obtener a cada vuelta toda la información referente a los grupos formados (número de elementos, porcentaje que representan, coordenadas de los centros y varianzas de los grupos anteriores y presentes). El resultado es que la franja de anchura variable y la comparación de las varianzas fuerza el desplazamiento de los centros hacia los lugares donde la nube de puntos es más compacta. El último paso consiste en asignar todos y cada uno de los vectores a algún grupo (eliminando la franja).

Resultados: El programa se aplicó a 578 vectores de dimensión 4 (valores de las componentes para cada muestra). Resultaron 7 grupos cuyas características se hallan resumidas en la figura 9 y la tabla 2. El tamaño de los grupos, exceptuando el 7, que es menor, difiere poco de unos a otros, oscilando alrededor del 15 % del total de muestras. Observando la forma de los espectros de tamaños de partículas para los

TABLA 2. — Las columnas de izquierda a derecha son: 1) el número del grupo, 2) la clorofila *a* (la media para las muestras del grupo) dada en $\text{mg} \times \text{m}^{-3}$, 3) el número total de partículas dado en miles por cm^3 , 4) el volumen de seston dado en partes por millón (ppm), 5) volumen medio de las partículas del grupo (media aritmética de los cocientes calculados para cada muestra) dado en $\mu\text{m}^3 \times \text{part}^{-1}$, 6) la clorofila por partícula dado en μg de Clor $a \times 10^{-6}$ part., 7) la clorofila por unidad de volumen de material particulado dado en mg de Clor $a \times \text{cm}^{-3}$.

| Grupo | Clor <i>a</i> | Part. | Vol. | V/P | Cl/P | Cl/V |
|-------|---------------|-------|------|-------|-------|------|
| 1 | 3,45 | 12,57 | 2,05 | 166,8 | 0,284 | 1,73 |
| 2 | 2,44 | 9,70 | 1,91 | 204,2 | 0,264 | 1,31 |
| 3 | 1,93 | 13,44 | 1,27 | 97,0 | 0,161 | 1,70 |
| 4 | 1,10 | 6,28 | 0,97 | 156,6 | 0,182 | 1,23 |
| 5 | 1,64 | 7,42 | 1,32 | 183,5 | 0,236 | 1,34 |
| 6 | 1,31 | 9,06 | 1,14 | 128,1 | 0,150 | 1,22 |
| 7 | 3,73 | 10,96 | 3,22 | 306,9 | 0,347 | 1,15 |

distintos grupos (fig. 9), se puede distinguir dos tipos de distribuciones según sean o no bimodales. Los grupos 1, 3 y 6 tienen proporcionalmente una parte importante del volumen de seston debido al nanoplancton. En la figura 10 (distribución espacial de los grupos) se ve claramente (línea continua) que las muestras pertenecientes a estos tres grupos se hallan restringidas en su mayor parte a la zona costera. En un estudio de sucesión de plancton costero, PARSONS (1969) encuentra unos espectros de tamaños de partículas parecidos. En dicho trabajo identifica en primer lugar un *bloom* caracterizado por un pico alrededor de las partículas de $8 \mu\text{m}$ (correspondiente a nuestra variable 6) seguido de un aumento del microplancton (diámetro mayor de $20 \mu\text{m}$) y apreciándose más tarde un pico en dicha zona del espectro. En cuanto a la clorofila, encuentra dos máximos que corresponden a las muestras con picos importantes: uno de ellos se halla asociado con el *bloom* de nanoplancton y el otro con el de microplancton, hallando los valores máximos de clorofila cuando, en este último caso, era también apreciable la cantidad de nanoplancton. MARGALEF (1958) hizo un modelo de la sucesión del fitoplancton costero en el que suponía



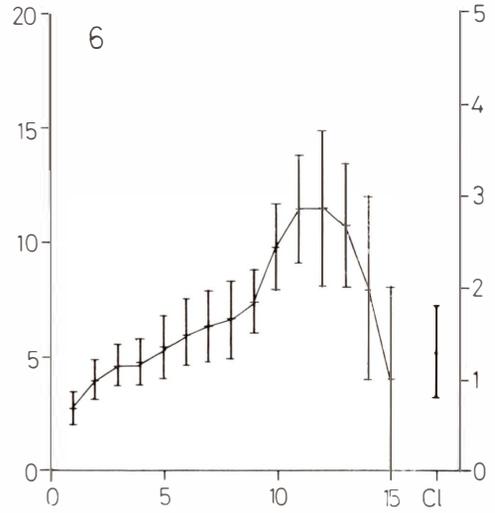
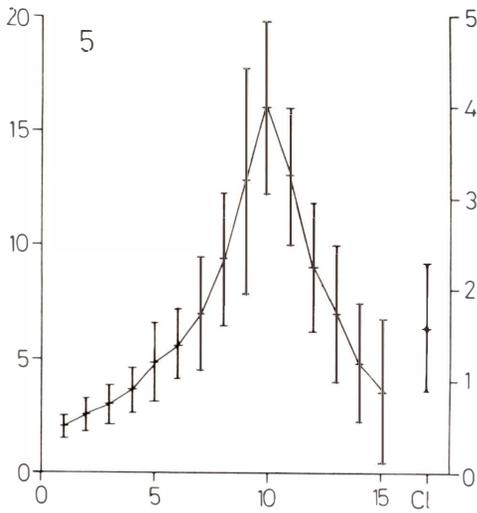
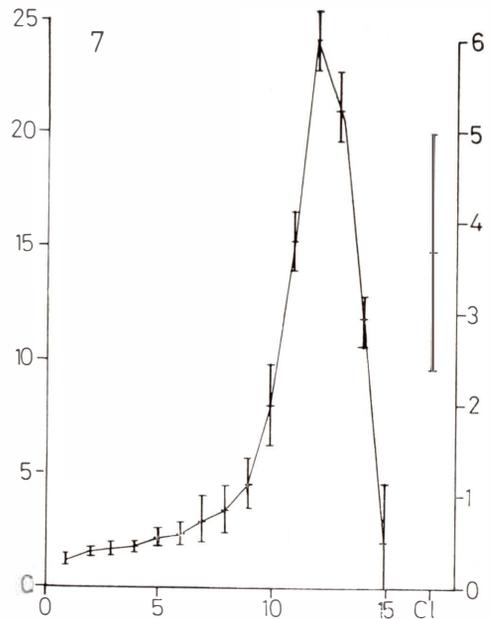


FIG. 9.—Espectros de tamaños de partículas para los distintos grupos. En cada uno de ellos se calculó la media para cada variable y su desviación típica, valores que se indican en los segmentos verticales, donde el punto central corresponde en ordenadas a la media y los extremos a ésta menos la desviación típica. La escala de la izquierda son los porcentajes en volumen de las variables, y la de la derecha, la cantidad de clorofila *a* en $\text{mg} \times \text{m}^{-3}$. Se han unido los puntos medios de los porcentajes con una línea para que se distinga mejor la tendencia.



que empezaba por las partículas menores, ya que las células que tienen relaciones superficie-volumen mayores poseen tasas de multiplicación también mayores. En estudios previos de la zona del NW de África en los que se usó el Coulter (MARGALEF, 1974), no se encontró que los centros de afloramiento costero fueran más ricos proporcionalmente en partículas pequeñas. Sin embargo, los resultados de la campaña Atlor V (abril-mayo de 1974) parecen indicar que en el centro del afloramiento costero predominan las partículas pequeñas, dejando paso éstas a las mayores a medida que nos alejamos de la costa. Para comprobarlo se calculó la media para las muestras contenidas en las áreas marcadas en la figura 10 como A1, A2 y A3, y B1, B2 y B3. Las distribuciones halladas se encuentran en las figuras 11 y 12. En la zona A1 se ve claramente el predominio de las partículas pequeñas, observándose una

distribución bimodal acentuada. A medida que nos alejamos de la costa va aumentando el pico correspondiente a las partículas mayores (A2 y A3). Fuera de las zonas marcadas predominan los grupos 5, 2 y 4 (véase figura 10), que son unimodales (al menos con un solo pico importante). Las muestras pertenecientes al grupo 5 situadas alrededor del paralelo 25° tienen su origen más al norte y fuera de la zona A1. En las zonas B1, B2 y B3 no puede hacerse el mismo tipo de consideraciones sucesionales, aunque en las dos zonas de afloramiento se observa un hecho común, consistente en la distinta posición del pico para las muestras situadas al oeste del afloramiento y las situadas al sudoeste. En las primeras se halla alrededor de las partículas del canal 10 mientras que en las segundas está por el 12. El seston del grupo 7, a la altura y al sur de Cabo Blanco, tiene seguramente su origen en las aguas costeras dentro de la rada. La gran turbulencia originada por el viento hace que se mantengan las características eutróficas en dicha zona, y su plancton debe ser característico de la zona de mezcla de aguas procedentes del norte (recientemente afloradas) con aguas de origen costero (de la zona norte de la plataforma mauritana).

En cuanto a la clorofila, resulta interesante observar que es baja en el centro del afloramiento con respecto a los alrededores (A1), aumenta en A2 y disminuye un poco en A3, siendo ya para los grupos 5 y 2 tan baja o más que en el centro del afloramiento.

El ejemplo de sucesión descrito por PARSONS (1969) coincide con el de MARGALEF (1958) y con el hallado en el afloramiento costero del NW de África. Habría una primera fase con pequeños flagelados y pequeñas diatomeas (principalmente), una segunda fase de diatomeas en su mayor parte formando algunas de ellas cadenas y una tercera fase de partículas de tamaños más variados (medianos y grandes) con una contribución al volumen total parecida para todos ellos. Esta última fase sería la más «madura», caracterizando seguramente aguas quizá más pobres y estables.

Existe diversidad de opiniones respecto al tamaño de las partículas en suspensión que deben predominar en los afloramientos y respecto a la mayor o menor importancia



FIG. 10. — Distribución espacial de los grupos. Los números indican el grupo al que pertenece la muestra tomada en aquel lugar. La línea continua indica las zonas ocupadas por muestras pertenecientes a los grupos 3, 6 y 1. Las líneas de trazos delimitan bandas designadas con las letras A y B (ver texto).

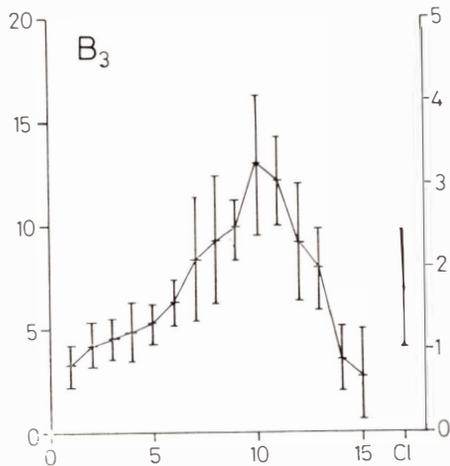
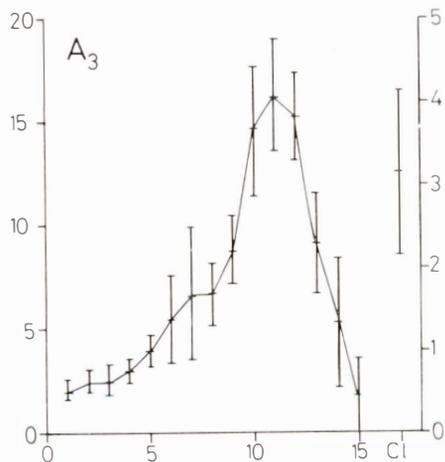
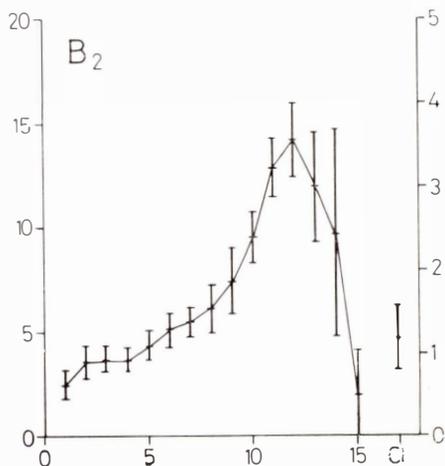
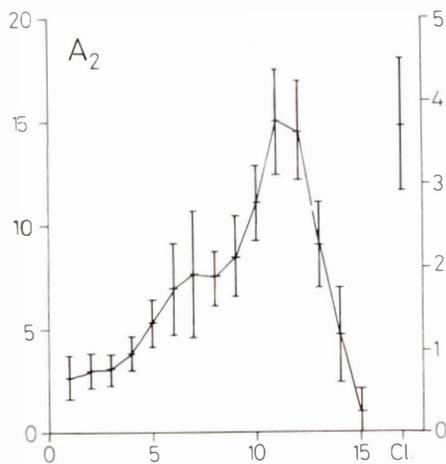
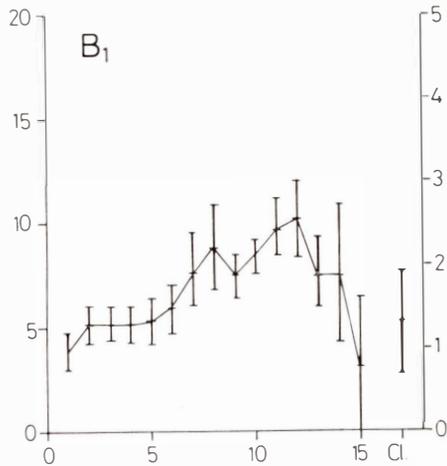
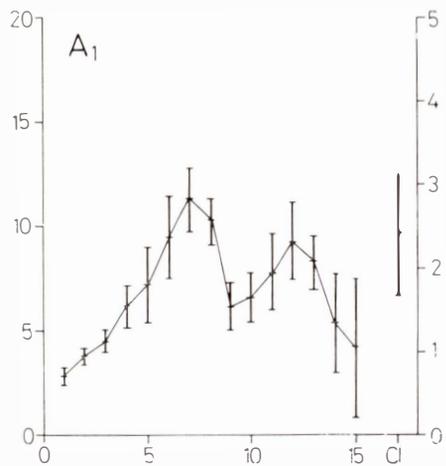


FIG. 11.—Valores de las medias y desviaciones típicas para cada una de las áreas indicadas con la letra A en la figura 10. Ver leyenda de la figura 9.

FIG. 12.—Valores de las medias y desviaciones típicas para cada una de las áreas indicadas con la letra B en la figura 10. Ver leyenda de la figura 9.

de los distintos factores que teóricamente afectan al tamaño medio de las mismas (SMAYDA, 1970; RYTHER *et al.*, 1971; SEMINA, 1972; PARSONS y TAKAHASHI, 1973 *a y b*; HECKY y KILHAM, 1973). SEMINA (1972) da como factores más importantes que condicionan el tamaño medio de las partículas en suspensión en el mar: a) la dirección y velocidad vertical del agua, b) el valor del gradiente de densidad en la pycnoclina principal y c) la concentración de fosfatos. PARSONS y TAKAHASHI (1973) citan por orden: a) la tasa de entrada a la célula del nitrato o el amonio, b) el coeficiente de extinción del agua, c) la profundidad de mezcla del agua, d) la intensidad de la luz en superficie, e) la velocidad de sedimentación del fitoplancton y f) la velocidad ascensional del agua. Por otro lado debe tenerse en cuenta que el origen y calidad de las aguas afloradas puede condicionar la sucesión en sus etapas iniciales (BARBER *et al.*, 1971) y que las proporciones de los distintos tamaños de seston también están influenciados por la estructura de la cadena trófica (SHELDON *et al.*, 1973; KERR, 1974). En general debe tenerse en cuenta la historia (origen y calidad, características físicas, químicas y biológicas) de la masa de agua que se considere.

En el caso del afloramiento costero estudiado aquí, la velocidad ascensional del agua es seguramente importante a cierta profun-

didad fuera de la zona fótica en el momento en que remonta el talud. Sin embargo, encima de la plataforma, cerca de la costa, el agua está mezclada uniformemente hasta una profundidad de unos 30 metros (CRUZADO, 1976; MITTELSTEAD *et al.*, 1975) y el movimiento vertical deja de ser importante frente al concepto general de turbulencia y al desplazamiento horizontal. La mayor proporción en estos lugares de las partículas entre 6 y 14 μm parece apoyar la idea de que una tasa de multiplicación elevada es favorecida (la relación superficie-volumen es elevada). Al alejarse de la costa (o yendo hacia el SW) siguiendo la corriente superficial, ganan en importancia (en volumen) partículas mayores (microplancton). Posibles causas de ello son: la existencia en el medio de vitaminas u otros productos favorecedores del crecimiento de dichas partículas mayores, el efecto del consumo por parte del microzooplancton y el efecto de retardo debido a las distintas tasas de multiplicación. Ya más lejos de la costa debe de estar favorecida la estrategia de la K, debe de cobrar importancia la sedimentación y también el consumo debido al macrozooplancton. Aunque el número total de partículas disminuye en general en el sentido descrito, los tamaños proporcionalmente más importantes en cuanto a volumen se refiere son los intermedios (grupos 4 y 5 de nuestro análisis).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la colaboración entusiasta de Pedro Rubiés, Isabel Palomera, Domingo Lloris, José Luis Gual y Francisco Cerdà, que se encargaron de filtrar las muestras

para la clorofila y de hacer los recuentos de partículas, cada media hora, durante toda la campaña.

SUMMARY

SURFACE SESTON OF THE UPWELLING AREA OF NW AFRICA. — A principal component analysis was applied to some 600 particle countings (made with a model TA Coulter) and to chlorophyll data obtained from the same samples of oceanic water from the upwelling area of the NW Africa. Samples were taken (one every half an hour) and analyzed in the way between every two hydrographical stations, resulting in a mean separation between successive samples of 3 or 4 miles. A simple cluster analysis was

made on data issued from the principal component analysis in order to group samples. The results show that small particles (between 6 and 14 μm) predominate in onshore waters (where upwelling centers are found) while larger particles (between 22 and 45 μm) become more important in the offshore direction. Particles with sizes between 10 and 25 μm of diameter are dominant in offshore waters, poor in both particulate material and chlorophyll.

BIBLIOGRAFÍA

- BADER, H. — 1970. The Hyperbolic Distribution of Particle Size. *J. Geophys. Res.*, 75: 2822-2830.
- BARBER, R. T., & HUNTSMAN, S. A. — 1975. Joint I carbon, chlorophyll and light extinction. *R/V Atlantis II, Cruise 82 Data report 14 March 1975, Coastal Upwelling Ecosystems Analysis*.
- BAS, C., & CRUZADO, A. — 1976. Resultados de la campaña Atlor V. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide de Saavedra*, 5: 113-121.
- BENZECRI, J. P. — 1971. *L'analyse des données*. Dunod. Paris.
- CRUZADO, A. — 1974. Coastal Upwelling Between Cape Bojador and Point Durnford (Spanish Sahara). *Téthys*, 6 (1-2): 133-142.
- 1975. Is Wind Stress The Main Driving Force of Coastal Upwelling? *Third International Symposium on Upwelling Ecosystems, Kiel 25-28 August, 1975*.
- 1976. Tesis Doctoral. *Universidad de Barcelona*, 1976.
- ESTRADA, M., & VALLESPINÓS, F. — 1975. Consideraciones estadísticas sobre algunos parámetros de la región de afloramiento del NW de África. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide de Saavedra*, 4: 175-183.
- 1976. Estudio estadístico de espectros de absorción de extractos de pigmentos de comunidades de algas macrófitas. *Inv. Pesq.*, 40 (2): 551-559.
- HECKY, R. E., & KILHAM, P. — 1973. Environmental Control of Phytoplankton Cell Size. *Limn. & Oceanogr.*, 18 (6): 361-366.
- KERR, S. R. — 1974. Theory of Size Distribution in Ecological Communities. *J. Fish. Res. Board of Canada*, 31 (12): 1859-1862.
- KITCHEN, J. C.; MENZIES, D.; PAK, H., & ZANEVELD, J. R. V. — 1975. Particle Size Distributions in a Region of Coastal Upwelling Analysed by Characteristic Vectors. *Limn. & Oceanogr.*, 20 (5): 775-783.
- MANRÍQUEZ, M.; RUBIÉS, P., & CRUZADO, A. — 1976. Datos hidrográficos de la región de afloramiento del NW de África. Campaña Atlor V entre cabo Bojador y cabo Blanco. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide de Saavedra*, 5: 123-160.
- MARGALEF, R. — 1958. Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Phytoplankton. En: *Perspectives in Marine Biology*. Ed. A. A. Buzzati-Traverso, 323-349. University of California Press, Berkeley and Los Angeles.
- 1974. Distribution du seston dans la région d'afloramiento du Nord-Ouest de l'Afrique en Mars 1973. *Téthys*, 6 (1-2): 77-88.
- MITTELSTEAD, E.; PILLSBURY, D., & SMITH, R. L. — 1975. Flow Pattern in the North-west African Upwelling Area. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 28 (4): 145-167.
- NOY-MEIR, I., & AUSTIN, M. P. — 1970. Principal Component Ordination and Simulated Vegetational Data. *Ecology*, 51 (3): 551-552.
- PARSONS, T. R. — 1969. The Use of Particle Size Spectra in Determining the Structure or a Plankton Community. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 25 (4): 172-181.
- PARSONS, T. R., & TAKAHASHI, M. — 1973 a. Environmental Control of Phytoplankton Cell Size. *Limn. & Oceanogr.*, 18 (4): 511-515.
- 1973 b. A Rebuttal to the Comment by Hecky and Kilham. *Limn. & Oceanogr.*, 18 (6): 366-368.
- RICHARDS, F. A., & THOMPSON, T. G. — 1952. The Estimation and Characterization of Plankton Populations by Pigment Analysis. II. A Spectrophotometric Method for Estimation of Plankton Pigments. *J. Mar. Res.*, 21: 156-172.
- RYTHER, J. H.; MENZEL, D. W.; HULBERT, E. M.; LORENZEN, C. J., & CORWIN, M. — 1971. The Production and Utilization of Organic Matter in the Peru Coastal Current. *Inv. Pesq.*, 35 (1): 43-59.
- SEMINA, H. J. — 1972. The Size of Phytoplankton Cells in the Pacific Ocean. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 57 (2): 177-205.
- SHELDON, R. W., & PARSONS, T. R. — 1967. A Continuous Size Spectrum for Particulate Matter in the Sea. *J. Fish. Res. Board of Canada*, 24 (5): 909-915.
- SHELDON, R. W.; PRAKASH, A., & STUCLIFFE, W. H., Jr. — 1972. The Size Distribution of Particles in the Ocean. *Limn. & Oceanogr.*, 17 (3): 327-340.
- SHELDON, R. W.; SUTCLIFFE, W. H., Jr., & PRAKASH, A. — 1973. The Production of Particles in the Surface Waters of the Ocean with Particular Reference to the Sargasso Sea. *Limn. & Oceanogr.*, 18 (5): 719-733.
- SWAN, J. M. A. — 1970. An Examination of Some Ordination Problems by Use of Simulated Vegetational Data. *Ecology*, 51 (1): 89-102.