

03065
242



Universidad Nacional Autónoma de México

Colegio de Ciencias y Humanidades
Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

“Hidrología, Carbohidratos y Nitrógeno
Orgánico Disueltos durante un floreci-
miento masivo de Phaeocystis pouchetii
en la Bahía Alemana”.

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR

(Especialidad Oceanografía Química)

P r e s e n t a :

María Teresa Leal Ascencio

Febrero 1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

En el presente estudio se analiza la hidrología, el contenido de nutrientes y de sustancias orgánicas disueltas (Carbohidratos Disueltos Totales y Nitrógeno Orgánico Disuelto Total) en la Bahía Alemana (Mar del Norte) en junio de 1981. Se describe un método automático de determinación de Carbohidratos Disueltos Totales.

Se relaciona la eutroficación detectada con las descargas de los Ríos Elba y Weser y con el florecimiento del dinoflagelado Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae), encontrado al momento del crucero. Se identifican las zonas de mayor florecimiento del alga así como las de máxima concentración de sustancias orgánicas disueltas y su relación a la eutroficación presente.

Finalmente se relaciona el florecimiento fitoplanctónico a la acumulación de materia orgánica para esclarecer la proveniencia de ésta y la razón de su acumulación a niveles nunca antes detectados en esta zona.

I N D I C E

	Pág
1.- INTRODUCCION	1
1.1 Generalidades y Antecedentes	1
1.2 Objetivos e Importancia del estudio	5
2.- AREA DE ESTUDIO	7
2.1 Bahía Alemana	7
2.2 Red de Muestreo	9
3.- MATERIAL Y METODOS	11
3.1 Nutrientes	12
3.2 Nitrógeno Orgánico Disuelto Total	12
3.3 Carbohidratos Disueltos Totales	12
4.- RESULTADOS Y DISCUSION	15
4.1 Temperatura	15
4.2 Salinidad	17
4.3 Delta de Sigma-T	17
4.4 Concentración de células de <u>Phaeocystis pouchetii</u> /l	19
4.5 Clorofila-a	21
4.6 Visibilidad del disco Secchi	23
4.7 Nitratos + Nitritos	23
4.8 Amonio	27
4.9 Orto-fosfato	27
4.10 Silicatos	29
4.11 Nitrógeno Orgánico Disuelto Total	31
4.12 Carbohidratos Disueltos Totales	33
5.- CONCLUSIONES	39

	Pág
6.- BIBLIOGRAFIA CITADA	40
APENDICES	
Apéndice 1	48
Apéndice 2	50
Apéndice 3	52

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Zona de estudio y red de muestreo	10
FIGURA 2.	Diagrama de flujo para la determinación de Carbohidratos Disueltos Totales, según Eberlein y Hammer (1980).	13
FIGURA 3.	Isolíneas de Temperatura a 2.5 y 5.0 m de profundidad	16
FIGURA 4.	Isolíneas de Salinidad a 2.5 y 5.0 m de profundidad	18
FIGURA 5.	Isolíneas de Delta de Sigma-T	20
FIGURA 6.	Isolíneas de concentración de células de <u>Phaeocystis pouchetii</u> /l ($\times 10^6$)	20
FIGURA 7.	Isolíneas de concentración de clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{l}$) valores medios para la columna	22
FIGURA 8.	Isolíneas de visibilidad del disco Secchi (m)	22
FIGURA 9.	Isolíneas de concentración de nitratos + nitritos a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at N-NO}_3\text{+NO}_2/\text{l}$)	24
FIGURA 10.	Isolíneas de concentración de amonio a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at N-NH}_4/\text{l}$)	26
FIGURA 11.	Isolíneas de concentración de orto-fosfato a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$)	28
FIGURA 12.	Isolíneas de concentración de silicatos a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at Si-SiO}_2/\text{l}$)	30
FIGURA 13.	Isolíneas de concentración de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at N-Norg}/\text{l}$)	32
FIGURA 14.	Isolíneas de concentración de Carbohidratos Disueltos Totales a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{M Equivalentes de Glucosa}/\text{l}$)	35

LISTA DE TABLAS

	Pág
TABLA 1.- Carbohidratos Disueltos Totales reportados en la literatura	36
TABLA 2.- Relaciones de C.D.T., N.O.D.T. y Salinidad a la concentración de <u>F. pouchetii</u> /l; de C.D.T. y N.O.D.T. a Salinidad y de C.D.T. a N.O.D.T. Forma de la ecuación: $Y = a + bX$ s=ps 0.01 *sp=0.05	37

1. INTRODUCCION .

1.1 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES.

La contaminación de cuerpos de agua de circulación restringida, tales como bahías y estuarios, con grandes cantidades de nitrógeno y fósforo inorgánicos proveniente de afluentes, desechos, fertilizantes, asentamientos humanos, etc., es un fenómeno conocido como eutroficación la cual puede producir grandes florecimientos de fitoplancton (Riley, 1971; Margaleff, 1980; Smith et al., 1985). Durante los mismos se producen con siderables cantidades de materia orgánica.

La materia orgánica en el mar presenta un espectro continuo de tamaño, empezando con moléculas libres, pequeñas, macromoléculas, coloides y agregados y termina con organismos planctónicos. Por definición arbitraria, la fracción que pasa filtros de poro de 0.5 a 1.0 μm se le define como fracción disuelta (Williams, 1975; Brockmann et al., 1983; Parrisch, 1988). Los organismos vivos representan solo el 2 % de la materia orgánica total en el mar; 9 % lo constituye la materia orgánica particulada inerte y el restante 89 % lo comprende la materia orgánica disuelta -- (Nienhuis, 1981).

Cauwet (1981) calcula la distribución de Carbono Orgánico en el océa no en la proporción siguiente : disuelto = $2 \times 10^{17} \text{g}$; particulado inerte = $2 \times 10^{16} \text{g}$; fitoplanctónico = $4 \times 10^{15} \text{g}$; zooplanctónico = 10^{14}g y proveniente de bacterias igualmente 10^{14}g . La materia orgánica disuelta en el mar forma entonces una de las reservas mayores de carbono orgánico en la Tierra. A pesar de esto, este almacén de materia orgánica no está totalmente identificado. El 80 % lo constituyen moléculas complejas de ácidos húmicos y fúlvicos marinos con edades aparentes de varios miles de años y que son resistentes ó inertes a degradación química ó biológica (Gagosian y Lee, 1981; Zhou y Wangersky, 1987).

Solo cerca del 20 % de la materia orgánica disuelta ha sido cualificada y cuantificada en compuestos orgánicos específicos como carbohidratos, aminoácidos, aldehídos, cetonas, amino-azúcares, xantofilas, cloro

filas, ácidos grasos y ésteres de grasas, proteínas, anticuerpos, glicoproteínas, triglicéridos, esteroides, hidrocarburos, vitaminas y co-enzimas, compuestos halogenados, intermediarios del ciclo del ácido cítrico, purinas y pirimidinas, ácido nucleico, ácido glicólico y compuestos multinitrógenados (Ehrhardt, 1977; Dawson y Liebezeit, 1981; Lancelot y Mathot, 1986a). Pero de todos estos compuestos ya identificados los carbohidratos constituyen el grupo mayor, significando hasta un 40 % del total de Carbono Orgánico Disuelto identificado. Los carbohidratos son los productos primarios de la fotosíntesis y ya sea como azúcares combinados o libres constituyen una gran proporción de los organismos acuáticos, más del 80 % en el caso de las macrofitas. Los carbohidratos participan en varias funciones metabólicas, sirven como productos de almacenamiento y energía y tienen funciones estructurales (Dawson y Liebezeit, 1981).

Le siguen en abundancia a los carbohidratos los aminoácidos, constituyendo éstos hasta un 25 % del Carbono Orgánico Disuelto identificado. Los aminoácidos forman a las proteínas, que a su vez son componente estructural muy importante de los tejidos vivos, ocupando funciones como enzimas, anticuerpos, sistemas de transporte y de regulación metabólica. Entre los aminoácidos detectados con mayor frecuencia en el agua de mar se encuentran la glicina, serina, valina, ácidos glutámico y aspártico (dominantes en aguas superficiales), histidina, ornitina y arginina. En concentraciones mucho menores se han detectado compuestos relacionados a los aminoácidos como la urea y la creatina (Stumm y Brauner, 1975; Bada y Lee, 1977; Dawson y Liebezeit, 1981). Al determinarse Nitrógeno Orgánico Disuelto Total se mide todo un conjunto de compuestos, no nada más los aminoácidos libres y combinados, sino también compuestos como amino-azúcares, glicoproteínas, vitaminas, purinas y pirimidinas y compuestos multinitrógenados como hipoxantina, alantoína y urea (Ehrhardt, 1977).

El origen de la materia orgánica disuelta en el mar puede ser autóctono o heteróctono, siendo la fuente autóctona la principal, esto es, la

actividad biológica in situ debido a liberación de productos fotosintéticos al medio por parte del fitoplancton, excreción de materia orgánica disuelta y coloidal proveniente de los organismos marinos, disolución de compuestos celulares debido al daño producido en el fitoplancton durante el pastoreo, descomposición después de la muerte celular por autólisis y destrucción bacteriana (Williams, 1975; MacKinnon, 1981).

Las fuentes autóctonas de materia orgánica disuelta provienen de las masas terrestres a través de la atmósfera, el aporte de los ríos y los sedimentos marinos y las actividades humanas (desechos industriales, urbanos y agrícolas). Las concentraciones mayores de materia orgánica disuelta se detectan usualmente en áreas de alta productividad biológica ó en áreas costeras donde la influencia autóctona es muy importante (MacKinnon, 1981).

La distribución de materia orgánica disuelta en el océano está controlada por procesos muy diversos y sometida a reacciones de transformación muy variadas. El transporte de compuestos orgánicos puede ser vertical ó horizontal a través de procesos biológicos (producción biológica y consumo, heterotrofia, producción fecal); procesos químicos (quelatación, complejamiento, fotoquímica, óxido-reducción); procesos físicos (transporte vía atmósfera, rompimiento del oleaje, advección, difusión, evaporación, corrientes de fondo) y procesos geológicos (sedimentación, removilización) (Gagosian y Lee, 1981; Joiris et al., 1982; Klump y Martens, 1983).

Los organismos marinos excretan muchos compuestos orgánicos directamente al agua de mar como parte de mecanismos de remoción de desechos metabólicos, como comunicantes químicos y por otras razones aún no comprendidas del todo. Después de la muerte celular, si el organismo no es consumido inmediatamente, los constituyentes orgánicos solubles del cuerpo pasan al agua de mar con algún grado de descomposición biológica, química ó física (Gagosian y Lee, 1981). Se sabe de muchos organismos que producen ciertos metabolitos extracelulares ó productos de descomposición los cuales al ser excretados actúan como antibióticos ó toxinas

y son capaces de retardar el crecimiento de otros organismos, incluso de la misma especie (Hellebust, 1974). Por la dilución existente en mar abierto es difícil que estas sustancias tengan alguna significancia ecológica pero su efecto es importante cuando la dilución está restringida, por ejemplo en florecimientos masivos de plancton en estuarios o bahías (Riley y Chester, 1971).

En la Bahía Alemana se producen anualmente dos grandes florecimientos de fitoplancton entre primavera y verano. El primer florecimiento es debido a diatomeas y se produce entre marzo y abril, el segundo es debido a diatomeas y dinoflagelados y ocurre entre agosto y septiembre (Hagmeier, 1978). En adición a éstos ocurren florecimientos menores en el verano cuya presencia e intensidad depende de las condiciones climáticas y de vientos y que, mediante ellas, haya rompimiento de la estabilidad vertical, medio por el cual se incorporan nutrientes a la zona eufótica, permitiendo el desarrollo masivo del plancton (Drebes, 1974; Grimm y Weisse, 1985; Weisse et al., 1986).

Estos florecimientos adicionales son debidos frecuentemente al dinoflagelado Phaeocystis pouchetii (HARTOT) Lagerheim (Michaelis, 1983; -- Weisse et al., 1984). Esta alga pertenece al Phylum Chromophyta, Clase Chrysophyceae, Orden Chrysocapsales, Familia Chrysocapsineae, Género Phaeocystis, teniendo el nombre común de haptofita (Fott, 1971). Se presenta en estadios juveniles solo en esferas sueltas, después tiene forma irregular o de tubos y forma colonias gelatinosas. Las células palmeadas de las colonias se encuentran en un principio en la zona periférica, bajo la membrana exterior incolora. Al crecer la colonia se encuentran también células en el interior de ésta. Las células miden de 4.5 a 8 μ m y poseen de 2 a 4 cromatóforos amarillo-café y crisolaminarina como sustancia de reserva. Las colonias pueden crecer hasta ser perceptibles a simple vista (Drebes, 1974). Los florecimientos de Phaeocystis pueden ser tan intensos que cambian el color del mar localmente, afectando los patrones de migración de algunos peces como el arenque (-- Savage, 1930), y se sabe también que el agua rica en P. pouchetii es

dañina para ostiones jóvenes (Walne, 1974), siendo una fuente de preocupación para los cultivadores de ostras los florecimientos de esta alga en todo el Mar del Norte (Boalch, 1984).

Sieburth (1954, 1960, 1964), demostró que el alga produce niveles elevados de ácido acrílico, antibacteriano fuerte, estable al calor y soluble en agua y que durante un florecimiento masivo de Phaeocystis pueden llegar a detectarse hasta 7 µg/l del compuesto en el agua de mar. También se ha demostrado que esta alga produce niveles elevados de compuestos volátiles azufrados (Armstrong y Boalch, 1960). Es difícil que estas sustancias puedan alcanzar niveles tan altos en el agua como para ser tóxicos para los peces, pero pueden acumularse en el mucílago de las colonias, así mismo el mucílago atasca las agallas de los peces, teniendo éstos que evitar las zonas donde el alga florece (Boalch, 1984). Se ha demostrado también que Phaeocystis pouchetii se desarrolla preferentemente en aguas costeras con niveles elevados de nutrientes o incluso en aguas eutrofizadas (Kaysor, 1970).

Desde 1978 se ha detectado en la Bahía Alemana en cada primavera, en mayor o menor grado, el fenómeno de florecimientos de P. pouchetii donde, principalmente al final de éstos, entre mayo y junio, se provoca depositación extraordinaria de espuma en las playas de la costa alemana - del Mar del Norte (Gunkel, 1982; Michaelis, 1983; Weisse et al., 1984; - Weisse et al., 1986).

1.2 OBJETIVOS E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.

La zona alemana del Mar del Norte es un área de gran importancia pesquera y ecológica y en la actualidad presenta contaminación considerable como consecuencia de las descargas de los Ríos Elba y Weser, principalmente, cuyo contenido en desechos urbanos, agrícolas e industriales ha provocado daños, cambios, reducciones en flora y fauna y eutroficación de la Bahía Alemana (Rachor, 1980; Michaelis, 1981; Gillbricht, --

1982; Dethlefsen, 1984, Hainbucher et al., 1986; Koehler et al., 1986).

De ahí la trascendencia ecológica que los florecimientos de Phaeocystis pouchetii tienen en la Bahía Alemana y el interés en analizarlos. Para el efecto, este estudio tiene como objetivos:

1. Evaluar si el aporte de nutrientes del sistema fluvial Elba-Weser es la fuente de eutroficación en la Bahía Alemana.
2. Análisis general de la hidrología de la Bahía, mediante el estudio de Temperatura, Salinidad, delta de sigma-T, clorofila-a y nutrientes.
3. Identificar las zonas de florecimiento de Phaeocystis pouchetii dentro de la bahía y en su caso las de mayor intensidad.
4. Medir la variación de materia orgánica disuelta en forma de Carbohidratos Disueltos Totales y de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total en la Bahía Alemana y su relación al florecimiento de Phaeocystis.
5. Estimar si el ácido acrílico excretado por Phaeocystis al medio marino tiene efecto en el ecosistema.
6. Determinar si las sustancias orgánicas disueltas determinadas provienen del fitoplancton.

2. AREA DE ESTUDIO.

2.1 BAHIA ALEMANA.

Se le denomina Bahía Alemana al área del Mar del Norte que pertenece a la República Federal Alemana y que está comprendida al sur de los 55°10' N y al este de los 6°20' E (Fairbridges, 1966; Britannica Atlas, 1984). Dentro de la Bahía se localiza la isla de Helgoland, que es un fragmento de la base continental. Aparte de ésta hay dos series de islas alineadas a lo largo de la costa, a saber, las Islas de Frisian del Norte y las Islas de Frisian del Este, detrás de las cuales se localiza el llamado Wattensee. El Río Elba es el más importante de la zona y descarga un promedio de 720 m³/s de agua dulce (Hickel, 1980) (Fig 1).

Las características hidrográficas de la Bahía Alemana señalan temperaturas medias superficiales de 4°C en febrero y de 17°C en agosto - siendo las temperaturas de fondo extremas de 3°C en marzo y de 16°C en agosto (Gorshkov, 1978; Backhaus, 1980).

La termoclina aparece en abril a una profundidad de 30- 40 m y en las zonas donde la profundidad es menor a 50 m se detecta a los 2.5- 10 m. En octubre ésta desaparece como consecuencia del cambio climático (--- Fairbridges, 1966).

La corriente residual del agua costera bordea la costa en sentido contrario a las manecillas del reloj. Se detectan velocidades de la corriente residual entre 4 cm/s y 10 m/s, principalmente en las aguas costeras de Frisian del Norte, variando grandemente según la dirección de donde sopla el viento (Backhaus, 1980; Hainbacher et al, 1986).

La región puede ser hidrográficamente clasificada como homohalina y homotérmica en el invierno, mas no en el verano. El oriente de la bahía es una zona de mezcla intensa de masas de agua, básicamente el agua del Mar del Norte, el agua costera, el agua del estuario del Elba y el agua del Wattensee. El agua del estuario del Elba se alarga como una banda -

angosta mas allá de la isla de Scharnhoern, es de baja salinidad y alta temperatura relativa (13.6- 28.0 °/oo, 13.7-16.2°C). El cuerpo de agua del Wattensee comprende la zona este de la bahía, es decir los alrededores de Sylt y Amrum, es un área de relativa baja salinidad y baja temperatura (29.5-31.7 °/oo y 5.6-7.5°C). El agua del Mar del Norte se detecta en el área noroeste de la bahía, siendo salinidad máxima y temperatura alta relativa (33.2-34.6 °/oo y 10.8-11.7°C) (Goedecke, 1968; - Backhaus, 1980; Hainbucher et al, 1986).

En la Bahía Alemana hay una zona de convergencia llamada también de frentes oceánicos, con variaciones térmicas que revelan la demarcación de regiones de características hidrográficas diversas. El agua del Mar del Norte, siendo más pesada que el agua costera queda bajo ésta. La zona de frentes en la bahía tiene una dirección de SW a NE y su posición varía según las condiciones climáticas pero siempre se detecta en las cercanías de Helgoland. A lo largo de la zona de convergencia se forman remolinos los cuales provocan procesos de mezcla entre ambos cuerpos de agua. En las zonas de no-mezcla se producen gradientes muy fuertes de temperatura y salinidad y diferencias muy marcadas en el comportamiento anual de las masas de agua. Estas zonas se detectan a lo largo de las costas norte y este de la bahía (Goedecke, 1968; Backhaus, 1980).

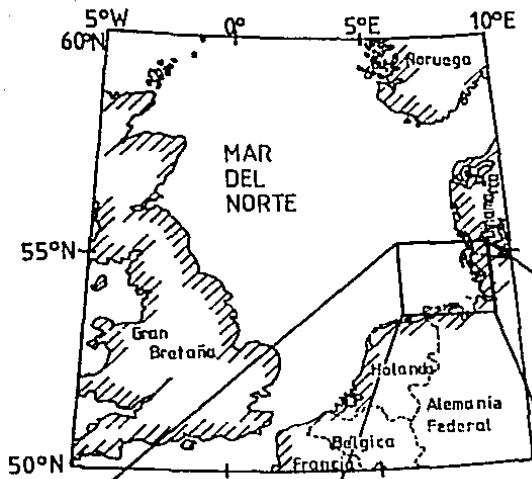
En los meses invernales se clasifica la bahía como homoterma debido a las tormentas que mezclan fuertemente la columna de agua. Aunque en inviernos muy extremosos se forma un gradiente entre la superficie fría y el agua de fondo más caliente. Al llegar la primavera y calentarse -- por insolación el agua superficial se forma desde abril una termoclina, la cual permanece hasta agosto ó septiembre que es cuando empieza a disminuir el gradiente y al llegar el invierno éste desaparece completamente, habiéndose alcanzado el estado inicial nuevamente (Goedecke, 1968).

La Bahía Alemana muestra un ciclo de fertilidad anual característico y muy bien definido donde las condiciones físicas y químicas caracterizan al sistema ecológico. La mezcla de la columna de agua en invierno -

provee de nutrientes regenerados los cuales sigue un incremento del zoo plancton. Este crecimiento de abril provoca disminución de nutrientes - aumentándose el efecto por la estratificación y estabilidad de la columna. La presencia de tormentas fuertes en el verano rompen la estabilidad de la columna y este factor aunado a las descargas fluviales continuas de nutrientes favorecen la formación de florecimientos durante mayo y junio. Se produce normalmente otro florecimiento intenso alrededor de agosto. La regeneración de nutrientes aunque es continua, produce en invierno una acumulación de éstos debido a la escasez de demanda de nutrientes y a las bajas temperaturas e iluminación y es hasta la primavera que es posible el desarrollo en gran escala de florecimientos de fitoplancton (Goedecke, 1968; Weichart, 1984).

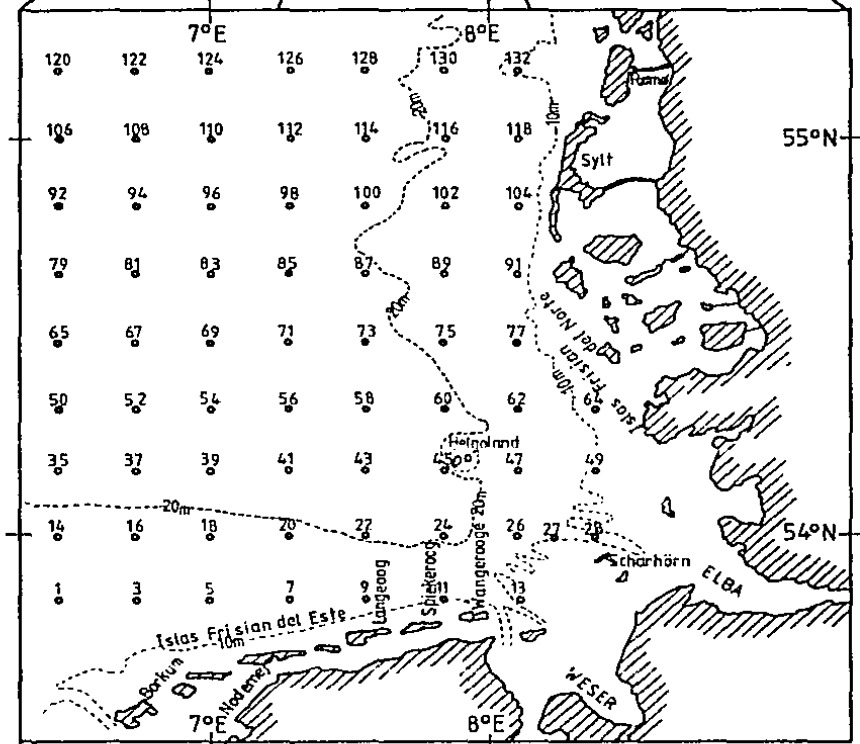
2.2 RED DE MUESTREO.

En un intervalo de nueve días (junio 12 al 20 de 1981), se llevó a cabo un crucero en el B/C R.V. Gauss en la Bahía Alemana, consistente en muestreos en una red de 65 estaciones (Fig 1). La distancia entre estaciones fué de 10 millas marinas. Cada sección se efectuó en un lapso de 7 a 10 horas; entre dos secciones hubo interrupción de 8 horas a fin de viajar hacia el punto más occidental de la sección siguiente. Debido a una fuerte tormenta hubo interrupción de 56 horas entre las secciones 5a. y 6a. de la red de muestreo.



- 10 -

FIGURA 1. ZONA DE ESTUDIO Y RED DE MUESTREO.
(Britannica Act'ns, 1984).



3. MATERIAL Y METODOS.

Los datos hidrográficos de salinidad, temperatura y visibilidad del disco Secchi fueron obtenidos in situ, los dos primeros a través de un aparato STD del Deutsches Hydrographisches Institut en Hamburgo. Se calculó a partir de salinidad y temperatura la densidad para de ella obtener datos de la homogeneidad de la columna por medio de delta de sigma-T, siendo sigma el inverso de la densidad.

A través de botellas Van Dorn se colectaron muestras de agua a 2.5 y 5.0 m de profundidad para medir las concentraciones de clorofila, fitoplancton, nutrientes y de sustancias orgánicas disueltas. Las mediciones de clorofila-a se llevaron a cabo a bordo in vivo inmediatamente después del muestreo por medio de la técnica recomendada por la UNESCO (1966) utilizando un fluorómetro de Turner. Las muestras de fitoplancton fueron preservadas a bordo con formaldehído (concentración final 1 %), para ser posteriormente contadas en laboratorio con un microscopio invertido según la técnica de Utermoehl (1958). Se tomaron alícuotas de 5 ml para el conteo de Phaeocystis pouchetii de -- tal modo que el número mínimo detectable fué de 24,000 células/l.

Las muestras para medir la concentración de nutrientes y de sustancias orgánicas disueltas fueron filtradas in situ bajo vacío constante (0.2 torr) usando filtros de fibra de vidrio (GF/C Whatman) de retención de 1.0 μ m a fin de que partículas menores no sean adsorbidas por el filtro (Wafar et al, 1984; Smith et al, 1985; Henrichs y Williams, 1985). Las muestras para determinación de Carbohidratos -- Disueltos Totales y Nitrógeno Orgánico Disuelto Total se fijaron con 3 ml/l de una solución de $HgCl_2$ al 3.5 % (P/V) y se almacenaron a 4°C.

Tanto nutrientes como sustancias orgánicas disueltas se determinaron por medio de un autoanalizador (Technicon), siendo las primeras medidas a bordo (Fig 2). En este método una corriente continua de mues

tra es tomada y todas las operaciones involucradas tales como adición de reactivos, calentamiento, diálisis, destilación y otras son llevadas a cabo en un sistema de tubos cerrado entre la entrada de muestra y la celda del sistema de detección, generalmente una celda fotométrica. Casi todas las reacciones involucradas están basadas en las de los métodos manuales. Un autoanalizador típico para los constituyentes del agua de mar consiste en un muestreador, una bomba peristáltica, serpentines de reacción y mezcla, separadores de burbujas, colorímetro de flujo continuo y registrador (Fig 2) (Grasshoff et al, 1983).

3.1 NUTRIENTES.

Los nutrientes determinados fueron nitratos + nitritos, amonio, ortofosfatos y silicatos. Todos ellos fueron determinados según técnicas de análisis automatizado para autoanalizador según fueron descritas por Grasshoff et al (1983).

3.2 NITROGENO ORGANICO DISUELTO TOTAL.

Se determinó mediante la oxidación con persulfato de potasio, según el método descrito por Koroleff (1977). En este método se lleva a cabo la digestión previa de las muestras en botellas de teflón que se someten en autoclave a 115-120°C por dos horas. El nitrato resultante de la oxidación más el nitrato, nitrito y amonio ya presentes se determinan como nitrato por el método descrito en el inciso 3.1. Del valor total obtenido se sustrae lo correspondiente a esos nutrientes obteniéndose la concentración correspondiente a Nitrógeno Orgánico Disuelto Total. El límite máximo de detección es igual que en nitratos + nitritos pero al efectuar el análisis final se diluye a necesidad. El límite inferior de detección es de 0.05 $\mu\text{g-at N-Norg/l}$ (Grasshoff et al, 1983).

3.3 CARBOHIDRATOS DISUELTOS TOTALES.

Se midieron con un Autoanalyzer II de 'Technicon' según el método automatizado de Eberlein y Hammer (1980) modificado (Fig 2). El método está basado en la reacción de carbohidratos con L-triptofano/ácido sulfúrico en la presencia de ácido bórico, el cual es un reactivo ideal ya que todos los monosacáridos reaccionan y producen un color violeta con absorción máxima en los 520 nm (Badin *et al*, 1953; Josefsson *et al*, 1972). El mecanismo de formación y estructura del cromóforo no son conocidas (Grasshoff *et al*, 1983). El color violeta desarrollado se mide en la celda de flujo de un fotómetro de un solo canal. Todas las conexiones son de vidrio, la tubería y mangueras utilizadas que entran en contacto con el ácido sulfúrico están hechas de material resistente a la corrosión (acidflex). El límite máximo de detección del método es de 5 mg de glucosa/l con límite inferior de 0.02 mg de glucosa/l. Se producen interferencias con nitratos cuando se encuentran en concentra-

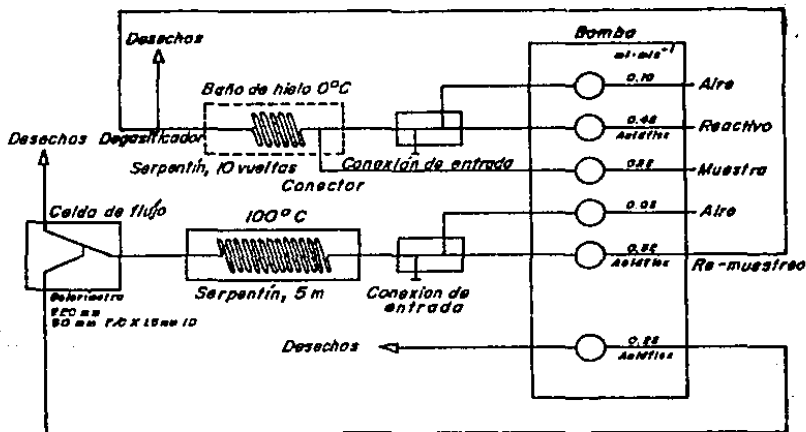


Fig 2. Diagrama de flujo para la determinación de Carbohidratos Disueltos Totales, según Eberlein y Hammer, (1980).

ciones mayores a $10\mu\text{M}/\text{l}$ (Eberlein y Hammer, 1980). En este método los nitratos dan lectura también a 520 nm, la cual debe sustraerse en cada muestra del total registrado. Para poder hacer la sustracción se corrieron al mismo tiempo estándares de nitratos. Así se obtuvieron datos corregidos de Carbohidratos Disueltos Totales. Se usó glucosa como estándar por lo tanto las concentraciones obtenidas equivalentes a μM de glucosa /l. A fin de evitar posibles contaminaciones de las muestras se manejaron éstas con guantes de hule látex.

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados se encuentran ordenados y esquematizados en los Anexos y en las figuras 3 a 14, correspondiendo a los parámetros siguientes: temperatura, salinidad, delta de sigma-T, concentración de células de Phaeocystis pouchetii/l, clorofila-a, visibilidad en m (disco Secchi), nitratos + nitritos, amonio, orto-fosfato, silicatos, Nitrógeno Orgánico Disuelto Total y Carbohidratos Disueltos Totales. Los resultados de concentración de células/l y de clorofila-a (Figs 6 y 7) son valores medios para la columna.

4.1 TEMPERATURA.

Las isolíneas de la figura 3 muestran una zona de temperatura homogénea en lo vertical, localizándose los gradientes horizontales paralelos a la costa. La descarga de agua dulce se distribuye en dirección norte, a lo largo de la costa, donde se registra una temperatura sobre 15.6 °C. En la parte oeste de la bahía el máximo es menor por casi 1°C (14.7°C).

Los resultados obtenidos confirman la presencia de una zona de frentes en los alrededores de Helgoland, donde las isolíneas de temperatura se acercan. La tormenta registrada durante el crucero provocó además de mezcla de la columna de agua, un enfriamiento de ésta, detectándose temperaturas menores a los 14°C y en la parte más noroeste valores menores a 11°C. Los valores de temperatura registrados concuerdan en algunas zonas con las condiciones reportadas en la literatura. En la parte noroeste de la zona de estudio concuerda con los datos reportados para el agua del Mar del Norte por Goedecke (1968), Backhaus (1980) y Radach (1984). En la zona cercana al estuario del Elba las temperaturas registradas (de 14.0-15.6°C) son menores que las reportadas por Goedecke (1968) y Backhaus (1980), las cuales fluctúan entre 13.7-16.2°C. Esto puede deberse a las condiciones climatológicas reinantes en el mes de

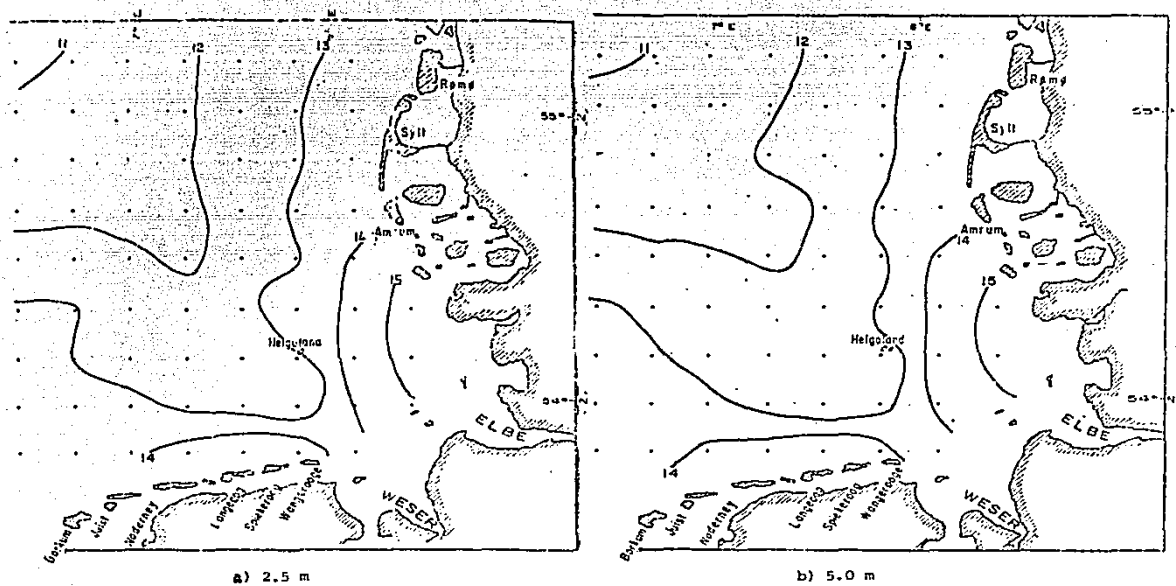


FIGURA 3. Isolíneas de Temperatura a 2.5 y 5.0 m de profundidad.

junio de 1981, las cuales fueron singulares, habiéndose registrado un verano frío y lluvioso.

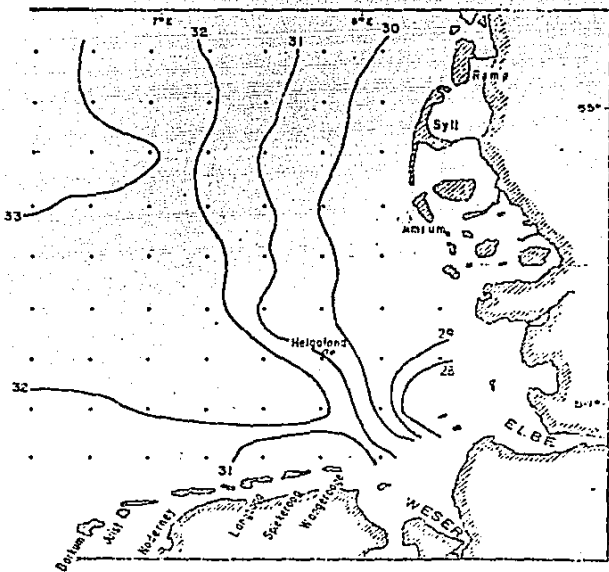
4.2 SALINIDAD.

La descarga fluvial proveniente del Elba y Weser está ya bastante mezclada con agua marina al llegar a la Bahía, pues muestra valores de salinidades de $27.0^{\circ}/\text{oo}$, concordando con los reportes de la literatura de $13.6-28.0^{\circ}/\text{oo}$. Las isolíneas de salinidad muestran (Fig 4) flujo superficial del agua del río hacia el norte, tal como se ha reportado en otros trabajos (Backhaus, 1979; Hainbucher *et al*, 1986). La salinidad en la parte noroeste de la zona de estudio, correspondiente al agua del Mar del Norte, muestra salinidades de $32.0-33.5^{\circ}/\text{oo}$, valores menores a los reportados por Goedecke (1968) y -- Backhaus (1979), de $32.0-33.5^{\circ}/\text{oo}$. Esta diferencia apreciable es atribuible al verano frío y lluvioso que se presentó en 1981.

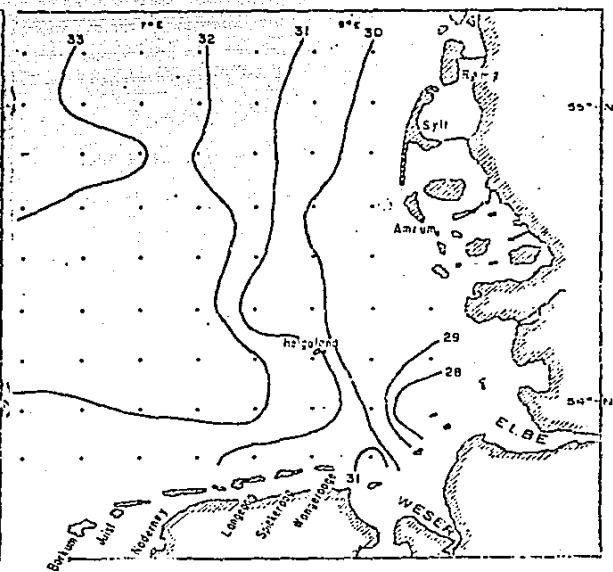
Al sur de Helgoland se detecta la zona de frentes ya mencionada. El agua costera de Frisian del Este muestra una salinidad homogénea con solo una pequeña zona: de menor salinidad entre 30.0 y $31.0^{\circ}/\text{oo}$ entre las islas de Langeoog y Wangerooge, debido a un flujo superficial de agua estuarina proveniente del Weser; a 5.0 m de profundidad esa salinidad ya no se detectó.

4.3 DELTA DE SIGMA-T.

Un análisis del delta de sigma-T (Fig 5), permite definir la zona de frentes y de mezcla al sureste de Helgoland y delimitar donde la columna de agua es homogénea en lo vertical. Un delta de sigma-T de $C.1$ indica que la columna de agua es prácticamente homogénea, situación que se detecta en prácticamente toda la zona de estudio, excepción hecha de la zona de frentes al sureste de Helgoland y de la zona de mezcla del estuario. Estos resultados difieren de las condiciones normales de la Bahía Alemana para el verano reportadas en la literatura (Backhaus, 1979 y 1980; Radach, 1984); según las cuales debería



a) 2.5 m



b) 5.0 m

FIGURA 4. Isolíneas de Salinidad a 2.5 y 5.0 m de profundidad.

observarse una estratificación generalizada. La ausencia de tal estratificación se explica por las condiciones meteorológicas mencionadas con anterioridad, pues la presencia de tormentas en el verano homogeneiza la columna de agua en sentido vertical y rompe la estratificación.

4.4 CONCENTRACION DE CELULAS DE Phaeocystis pouchetii/L.

Al momento del muestreo (Fig 6), la zona de florecimiento mas intensa fué frente a las Islas de Frisian del Este encontrándose de 3 a 10 millones de células/l. Otra zona con florecimiento intenso fué detectada frente a las Islas de Frisian del Norte, donde se midieron concentraciones de más de 2 millones de células/l de Phaeocystis pouchetii.

El curso cronológico del florecimiento de P. pouchetii en la Bahía Alemana en junio de 1981 puede documentarse por mediciones efectuadas por otros autores, en Helgoland y en Sylt (Islas Frisian del Norte). Los conteos de células de muestras tomadas alrededor de Helgoland registraron un máximo de un millón de células de Phaeocystis pouchetii/l alrededor del 4-5 de junio y del 24 al 26 del mismo mes de 1981 (Bundesanstalt Helgoland, 1982). La región de Helgoland no es la región principal del florecimiento, pues en un transecto efectuado de Helgoland a la desembocadura del Río Elba el 1. de junio se detectaron en zonas más costeras que la isla de Helgoland más de 6 millones de células/l (Bundesanstalt Helgoland, 1992). Waissé (1982) hizo en el Wattensee frente a Sylt conteos seriados de células de Phaeocystis pouchetii en la primavera y el verano de 1981. En esa región el florecimiento empezó el 22 de abril, detectándose el 24 de mayo las concentraciones mayores con más de 10 millones de células de Phaeocystis pouchetii/l. Posteriormente decreció la concentración y a finales del mes de junio hubo un ligero aumento.

De estos hechos puede concluirse que al momento de efectuar el

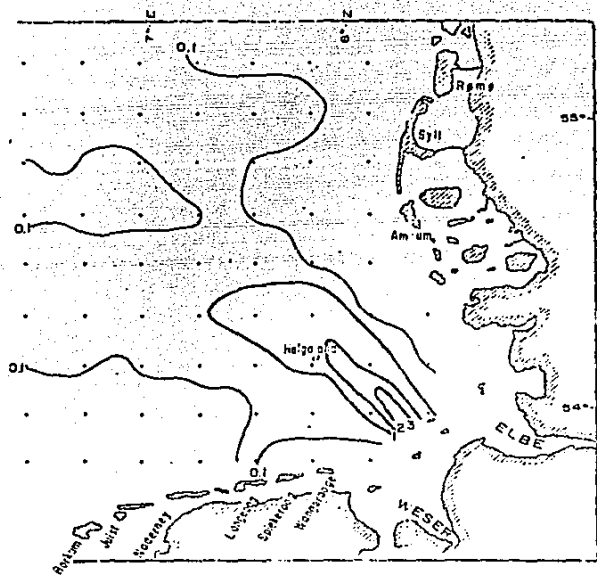


FIGURA 5. Isolíneas de Delta de Sima-T.

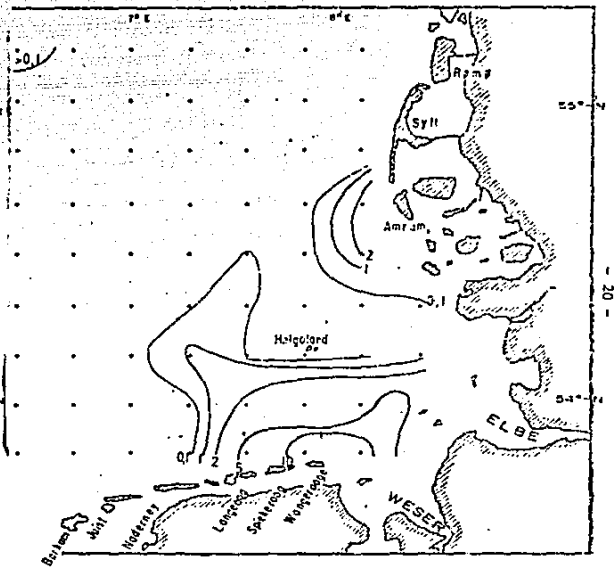


FIGURA 6. Isolíneas de concentración de células de *Phaeocystis pouchetii*/l ($\times 10^6$).

muestreo en la Bahía Alemana llegaba a su fin un florecimiento masivo de Phaeocystis pouchetii y era aun detectable en la parte oriente y sur de la bahía.

La correlación entre salinidad y concentración de células de P. pouchetii/l fué de baja significancia ($r = 0.47$; $p = 0.01$). El florecimiento no se desarrolló directamente en la zona de descarga del río pues P. pouchetii muestra restricción de crecimiento en donde la salinidad es menor a 29.0 ‰ (Fransz, 1985). Se ha observado que los florecimientos de P. pouchetii ocurren en áreas de eutroficación y así lo confirma este estudio (Boalch, 1984; Fransz, 1985). En la costa holandesa los florecimientos de P. pouchetii ocurren dentro de la zona de 50 millas de distancia de la costa pero al mismo tiempo alejadas de la zona de baja salinidad por las descargas de agua dulce (Fransz, 1985).

Por otro lado, se hace notar que es difícil la comparación de resultados de este parámetro en la literatura pues se reporta número de colonias/l (Jones y Haq, 1963; Weisse et al, 1984) más frecuentemente que número de células/l (Eberlein et al, 1985; Lancelot, 1984; Veldhuis et al, 1986), habiendo discrepancia respecto al mejor método para describir un florecimiento de esta alga.

4.5 CLOROFILA-a.

... La distribución de clorofila-a, esquematizada en la figura 7 muestra su máximo (3.87 µg/l) en las zonas más importantes del florecimiento, esto es, en la zona frente a las Islas Frisian del Este. La distribución de clorofila-a refleja también las poblaciones de diatomeas que se registraron al norte de los 54°30' (Eberlein et al, 1985). La concentración de clorofila-a es relativamente baja aún en las áreas del florecimiento más intenso. Este es resultado del método utilizado para la medición de clorofila-a pues la determinación fluorométrica in vivo, no estima en su totalidad el contenido clorofílico de las colonias gran

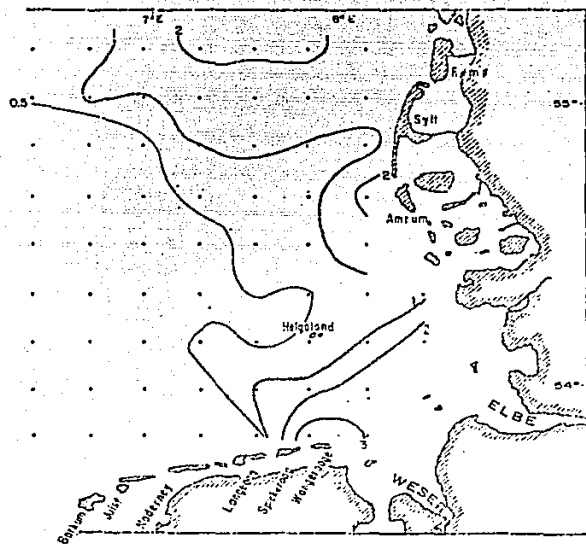


FIGURA 7. Isolíneas de concentración de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), valores medios para la columna.

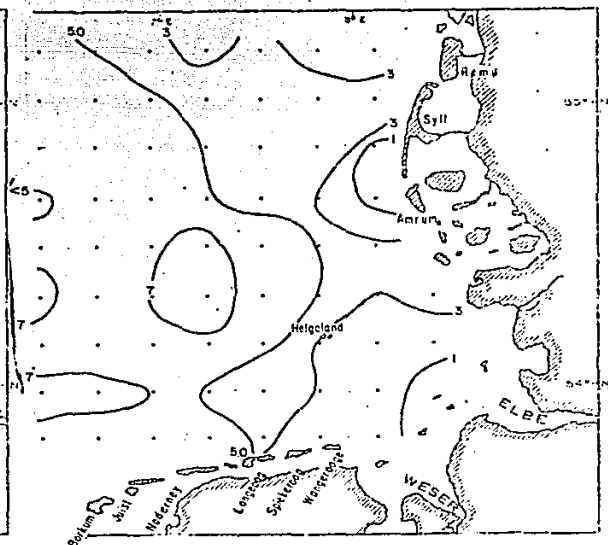


FIGURA 8. Isolíneas de visibilidad del disco Secchi (m).

des, vivas de Phaeocystis pouchetii. Gieskes y Kraay (1975) y Grimm y Weisse (1985) han demostrado que la clorofila-a no puede ser utilizada como índice de concentración de fitoplancton para florecimientos de P. pouchetii pues la concentración de clorofila-a medida en relación al número de células varía con tamaño de las mismas y su condición fisiológica. Este estudio confirma esos resultados.

4.6 VISIBILIDAD DEL DISCO SECCHI.

Este parámetro muestra una distribución (Fig 8) que refleja el efecto de la tormenta ocurrida durante el crucero, la visibilidad en la columna está relacionada significativamente a la fluorescencia, correspondiendo el mínimo de visibilidad (menor a 1.0 m) con el máximo de fluorescencia (3.87 $\mu\text{g/l}$ de clorofila-a). La zona de descarga del Río Elba presenta la visibilidad también muy disminuída (menor a 1.0 m) debida tanto a la descarga de material terrígeno como a la mezcla de diferentes masas de agua. En la zona al norte de los 54°30' N de latitud, la visibilidad está disminuída con respecto a la zona sur, detectándose en varias áreas abiertas valores menores a 3.0 m. Este cambio en la visibilidad refleja el efecto de la tormenta al remover sedimentos del fondo. En la zona de agua costera de Frisian del Norte, frente a las Islas Amrum y Sylt, la visibilidad disminuye aún más (mínimo 0.9), estando unidos los efectos de remoción de sedimentos por la tormenta y la fluorescencia elevada como consecuencia del florecimiento de Phaeocystis pouchotii.

4.7 NITRATOS + NITRITOS.

La fuente de nitratos + nitritos en la Bahía Alemana es principalmente la descarga de los Ríos Elba y Weser (Weichardt, 1980 y 1984). En el análisis de la figura 9 se observan las zonas principales del florecimiento al momento del muestreo con concentraciones muy bajas de nitratos + nitritos. En la zona principal del florecimiento, esto

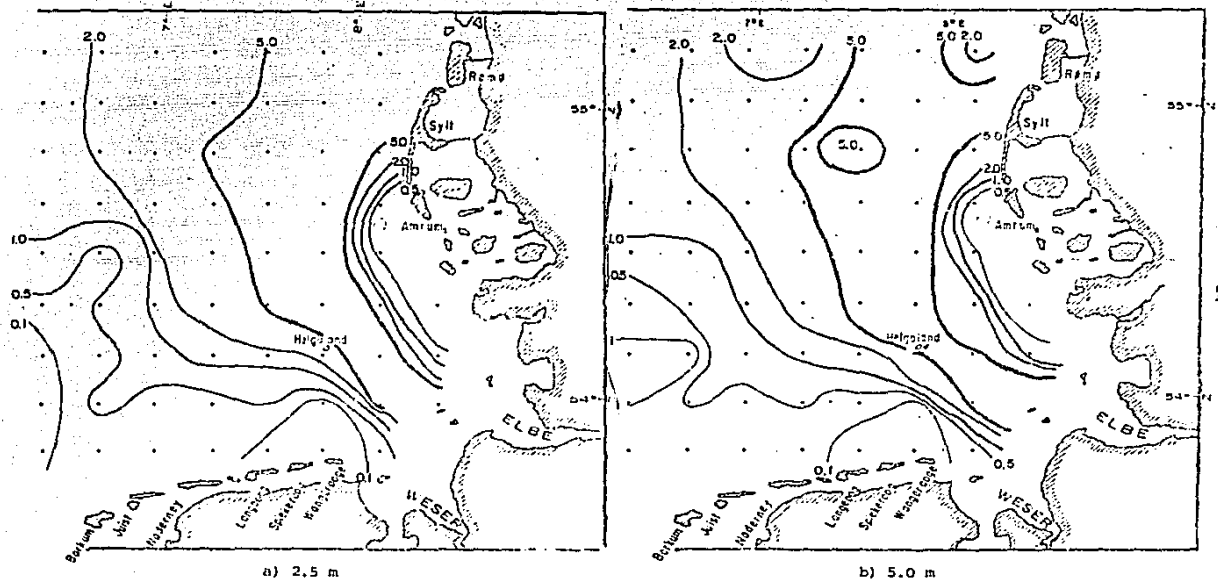


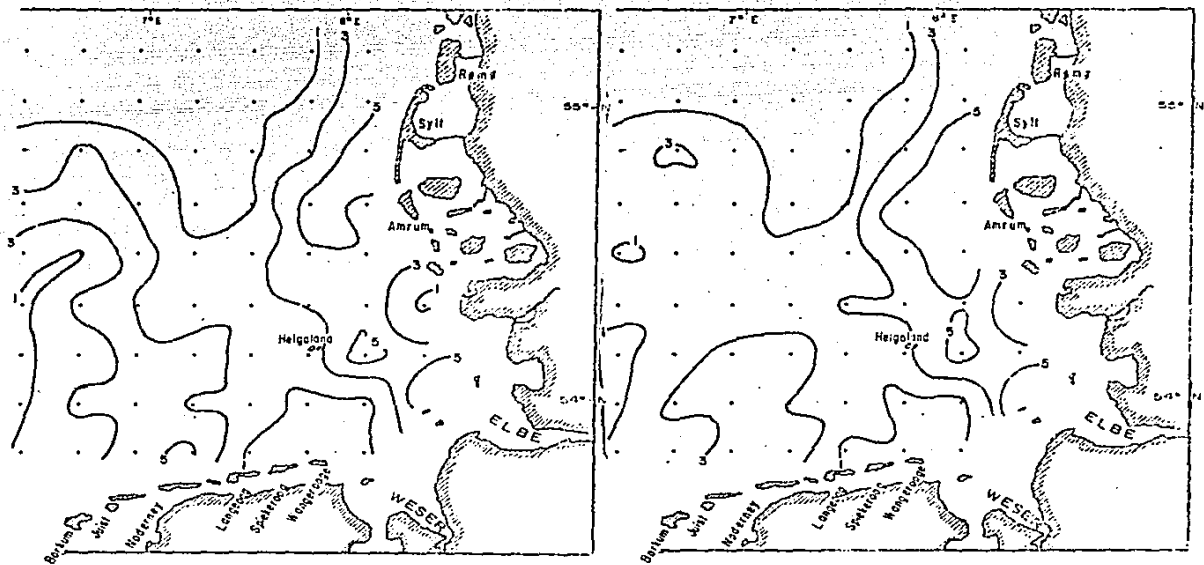
FIGURA 9. Isolíneas de concentración de Nitratos + Nitritos a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$).

os, frente a las Islas de Frisian del Este la concentración de nitrógeno de nitratos + nitritos fué menor a $0.05 \mu\text{g-at N/l}$. En la zona secundaria de florecimiento, frente a las Islas de Frisian del Norte la concentración disminuyó a un mínimo de $0.17 \mu\text{g-at de N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$.

La descarga del sistema Elba - Weser por contener aguas ricas en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ aporta fuertes cantidades de éstos en la zona costera (concentración máxima detectada = más de $65 \mu\text{g-at de N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$). La masa de agua dulce fluye en dirección norte-noroeste y se va mezclando en la zona de frentes por lo que, en la zona norte de la bahía y en los alrededores de Helgoland el patrón de isolíneas de nitratos + nitritos correspondió al patrón de descarga fluvial.

En la zona de los florecimientos las concentraciones disminuyen drásticamente en comparación a donde se detectó bajas concentraciones de células de Phaeocystis pouchetii/l. Tanto nitratos como nitritos son utilizados por P. pouchetii como fuentes primordiales de Nitrógeno inorgánico al mismo tiempo que el amonio (Lancelot, 1984; Lancelot y Mathot, 1986b). Waisse et al (1984), detectaron que el factor limitante para florecimientos de Phaeocystis en la zona del Waddensee en las cercanías de Sylt, es el nitrógeno disminuyendo las concentraciones de nitratos + nitritos hasta $0.05 \mu\text{g-at N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$. Michaelis (1983) en Norderney, en las Islas Frisian del Este, detectó durante un florecimiento de P. pouchetii disminuciones en la concentración de nitratos + nitritos de 40 unidades de $\text{N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$.

En esta investigación se encontró que Phaeocystis pouchetii utiliza el nitrógeno de nitratos + nitritos hasta disminuirlo a concentraciones como $0.02 \mu\text{g-at N-NO}_3 + \text{NO}_2/\text{l}$, siendo aparentemente el Nitrógeno el factor limitante al florecimiento. En las zonas cercanas a la desembocadura del río, aunque altas en concentración de nitratos + nitritos no muestran altas concentraciones de células de Phaeocystis pouchetii/l por la baja salinidad que limita el crecimiento del alga. Estos resultados han sido confirmados para otras zonas por otros autores (Lancelot, 1984; Lancelot y Mathot, 1986b).



a) 2.5 m

b) 5.0 m

FIGURA 10. Isolíneas de concentración de amonio a 2.5 y 5.0 m de profundidad
($\mu\text{g-at N-NH}_4/1$)

4.8 AMONIO.

La mayor parte del amonio disuelto en agua de mar proviene de la actividad bacteriana en sedimentos aerobios y anaerobios del fondo. Este proceso es de máxima importancia en ambientes costeros de poca profundidad donde la remineralización de materia orgánica disuelta produce una parte importante de los nutrientes inorgánicos necesarios en los florecimientos fitoplanctónicos (Williams, 1981; Klump y Martens, 1983).

El fitoplancton utiliza amonio preferentemente sobre nitrato + nitrato, aunque el 60 % del nitrógeno reciclado en el bentos del Mar del Norte es en forma de nitrato + nitrito (Billen, 1978; Klump y Martens, 1983).

El análisis de las isolíneas de concentración de amonio (Fig 10), muestra que coinciden los mínimos (menores a $0.3 \mu\text{g-at N-NH}_4/1$) con las áreas más importantes del florecimiento de Phaeocystis pouchetii. Los más elevados en la bahía son concentraciones de 3 a $5 \mu\text{g-at N-NH}_4/1$, lo cual es usual para la zona según otros estudios realizados (Eberlein, datos no publicados).

Las bajas concentraciones de amonio pueden deberse a la utilización rápida por parte de Phaeocystis pouchetii ya que los nitratos + nitritos en el centro del florecimiento estaban también muy bajos (menores a $0.05 \mu\text{g-at N-NO}_3 + \text{NO}_2/1$) y el amonio es fuente alternativa de Nitrógeno inorgánico.

Mas si se toma en cuenta que el florecimiento llegaba al final y por lo tanto la demanda de nitrógeno era un tanto reducida, las bajas concentraciones de nitrógeno de amonio detectadas, sugieren que la actividad bacteriana podría encontrarse menguada y por lo tanto la remineralización de nitrógeno también.

4.9 ORTO-FOSFATOS.

Para zonas costeras los orto-fosfatos no son el factor limitante - para el crecimiento planctónico sino principalmente nitrato + nitrito,

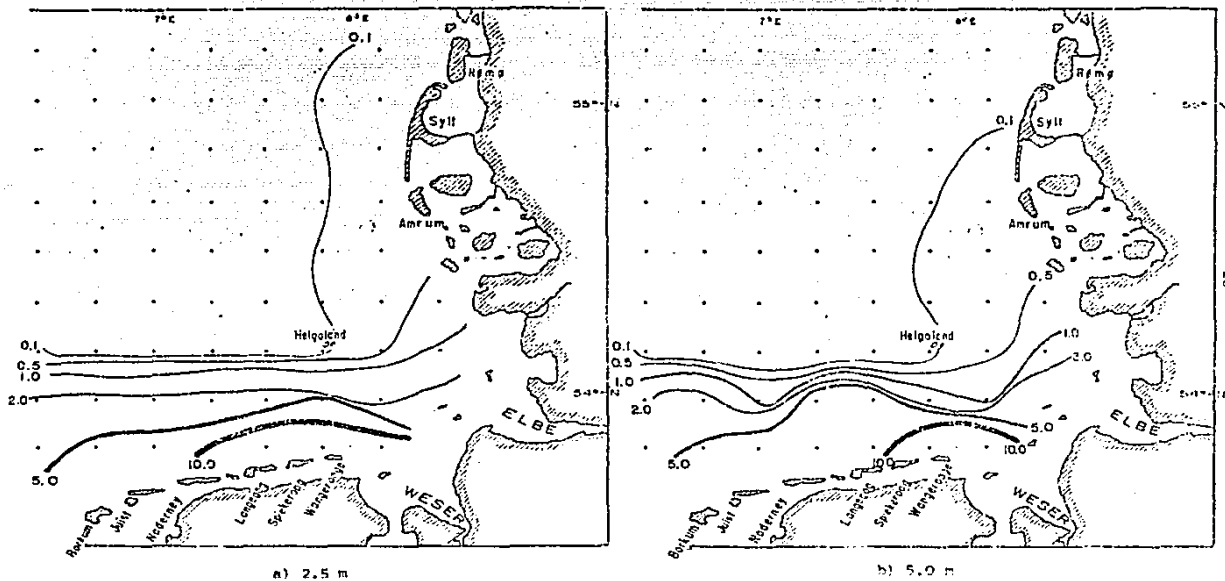


FIGURA 11. Isolíneas de concentración de orto-fosfato a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$).

amonio y otros compuestos de nitrógeno como aminoácidos, etc., (Ryther y Dunstan, 1971; Goldman, 1976; Smith et al, 1985); sin embargo los orto-fosfatos son un buen indicador de contaminación orgánica en zonas costeras.

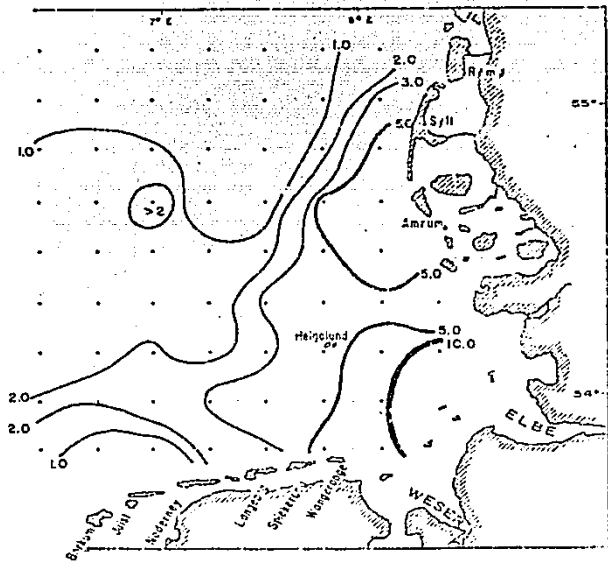
En la parte norte de la zona de estudio (Fig 11) se detectaron -- concentraciones de ortofosfatos menores a $0.1 \mu\text{g-at P-PO}_4/1$. En las zonas principales del florecimiento, esto es, frente a las Islas Frisian del Este y del Norte las concentraciones de orto-fosfatos son muy elevadas (mayores a $10 \mu\text{g-at P-PO}_4/1$). Como indicador de eutroficación se utiliza la relación (concentración de nitratos + nitritos): (concentración de fosfatos), siendo para zonas eutroficadas esta relación mayor de 1:10 y menor de 1:10 para zonas no eutroficadas (Ryther y --- Dunstan, 1971; Goldman, 1976). Para la zona norte de la bahía la relación es de 1:100 y por lo tanto se puede concluir, según este criterio, libre de eutroficación. Para la zona sur, cercana a la costa, aproximadamente de 20 millas marinas de anchura, la relación es mayor de 1:10, pudiéndose de esta forma concluir que esta franja presenta eutroficación de consideración.

En trabajos de otros autores se han reportado concentraciones de orto-fosfatos disminuidas a $1.4 \mu\text{g-at P-PO}_4/1$ como consecuencia de los florecimientos de Phaeocystis pouchetii (Weisse et al, 1984; Michaelis, - 1983); e incluso se ha reportado como factor limitante para florecimientos de Phaeocystis en otras zonas (Jones y Haq, 1963; Gieskes y -- Kraay, 1975).

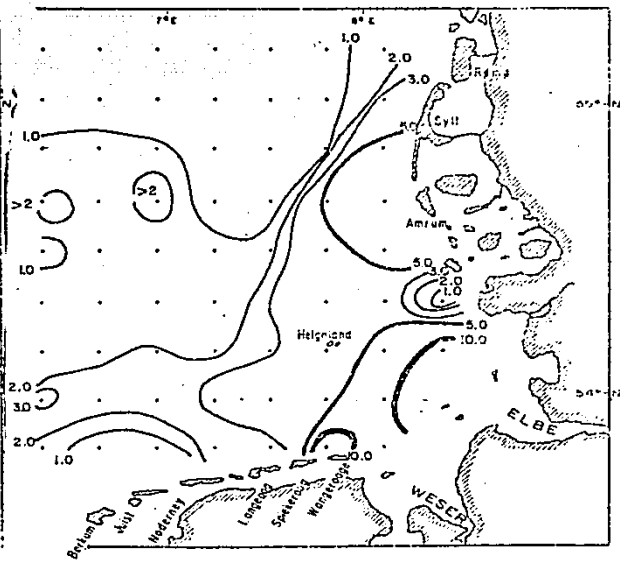
Para este estudio en la Bahía Alemana. los orto-fosfatos no son el factor limitante al crecimiento pues en las zonas principales del florecimiento se encontraron en abundancia.

4.10 SILICATOS.

Este nutriente proviene de las descargas fluviales que contienen material terrígeno, detectándose en la zona inmediata a la fuente de agua dulce niveles mayores a $15 \mu\text{g-at Si-SiO}_2/1$. La distribución de silica-



a) 2.5 m



b) 5.0 m

FIGURA 12. Isolíneas de concentración de silicatos a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at Si-SiO}_2/\text{l}$).

tos en la Bahía Alemana, según la figura 12, permite establecer diferencias entre la zona sur de la bahía, muestreada antes de la tormenta, y la zona norte, la cual fué muestreada después de aquella. Basicamente, las concentraciones son mayores en la zona norte por más de $2 \mu\text{g-at Si-SiO}_2/\text{l}$ de diferencia, debido a la remoción de sedimentos del fondo, lo cual se refleja también en los contenidos medidos de disco Secchi. Las concentraciones detectadas en este estudio son similares a las de los estudios sistemáticos de la zona hechos por Eberlein de la Universidad de Hamburgo (datos no publicados).

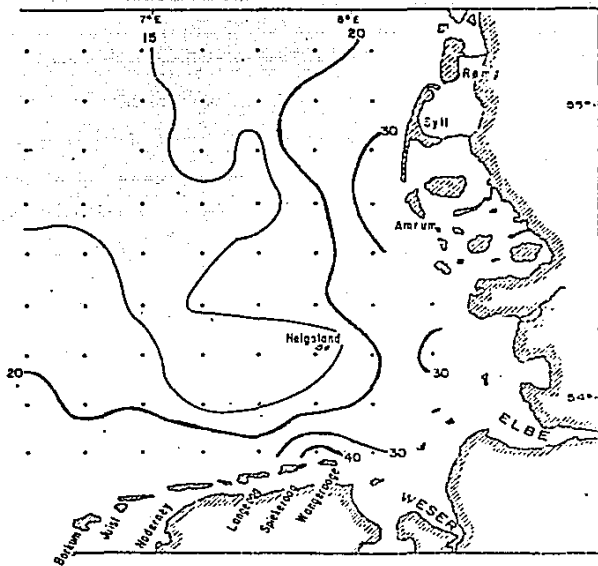
La concentración de silicatos no es afectada por el florecimiento ya que Phaeocystis pouchetii no requiere de este nutriente para su desarrollo, sin embargo se analizó como parte de la hidrología de la Bahía Alemana.

4.11 NITROGENO ORGANICO DISUELTO TOTAL.

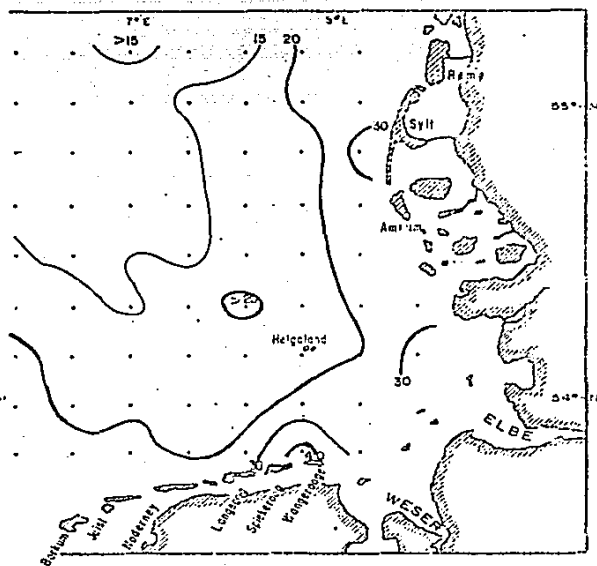
En las estaciones costeras se midieron los máximos de células de -- Phaeocystis pouchetii/l y se detectaron asimismo los máximos de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total (Fig 13) con concentraciones de 30 - 40 $\mu\text{g-at N-Norg}/\text{l}$. En aguas del Mar del Norte, la parte noroeste de la zona de muestreo, los contenidos fueron siempre mayores a 15 $\mu\text{g-at N-Norg}/\text{l}$ y fué muy claro el incremento en dirección a la costa.

La correlación entre Nitrógeno Orgánico Disuelto Total y el número de células de Phaeocystis pouchetii/l para el área de florecimiento fué cercana y altamente significativa donde $r = 0.938$ ($p = 0.01$, Tabla 2). En la misma zona la concentración de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total no tuvo correlación significativa con la salinidad, lo cual implica que la fuente del Nitrógeno Orgánico Disuelto determinado no es la fluvial.

Para la misma zona de muestreo se han detectado concentraciones de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total máximas de 15 a 20 $\mu\text{g-at N-Norg}/\text{l}$ en la zona frente a las Islas Frisian y de 8 a 12 $\mu\text{g-at N-Norg}/\text{l}$ en las



a) 2.5 m



b) 5.0 m

FIGURA 13. Isolíneas de concentración de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total a 2.5 y 5.0 m de profundidad ($\mu\text{g-at N-Org/l}$).

zonas alejadas de éstas. No se ha detectado un decremento de concentración de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total tan marcado de la costa a la bahía abierta, como fué el caso de este estudio.

Otros autores han detectado también concentraciones elevadas de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total durante florecimientos de Phaeocystis pouchetii. Veldhuis (1985) y Lancelot y Mathot (1986b) detectaron que Phaeocystis produce grandes cantidades de proteínas y carbohidratos durante la fase activa de crecimiento exponencial, donde predomina la biosíntesis de proteínas y durante el crecimiento estacionario domina la biosíntesis de carbohidratos.

Colijn (1984) demostró asimismo que Phaeocystis pouchetii produce cantidades importantes de productos extracelulares en forma de compuestos orgánicos disueltos y un gran porcentaje (entre 33 y 55 por ciento) de la producción primaria total del alga es excretada. Por otro lado, polisacáridos y proteínas son con mucho los polímeros más abundantes en la materia orgánica derivada de Phaeocystis pouchetii (-- Lancelot y Billen, 1984; Lancelot y Mathot, 1986b).

Para este estudio, se concluye que las altas concentraciones de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total provienen del florecimiento de Phaeocystis pouchetii, mas existen dos posibilidades de origen, a saber, que las sustancias orgánicas disueltas sean productos extracelulares del alga ó que provengan de la descomposición parcial de las células de P. pouchetii. Se detectaron, simultáneamente, bajas concentraciones de amonio y concentraciones elevadas de compuestos orgánicos nitrogenados - lo cual sugiere que la remineralización se encontraba reducida, para el momento del muestreo. De otra forma la concentración de Nitrógeno Orgánico Disuelto Total sería menor y las concentraciones detectadas de amonio y de nitratos + nitritos serían mayores. En las zonas fuera del florecimiento es de hecho mayor la concentración de amonio y el Nitrógeno Orgánico Disuelto Total no es tan elevado.

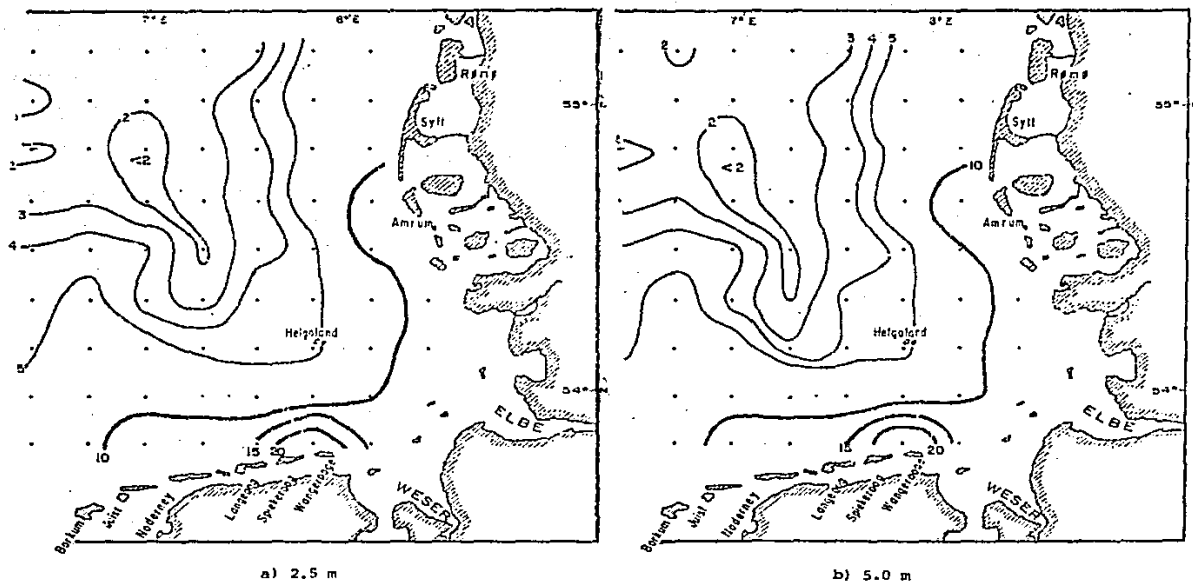
4.12 CARBOHIDRATOS DISUELTOS TOTALES.

Los Carbohidratos Disueltos Totales se encontraron en concentraciones mayores en el área principal del florecimiento de Phaeocystis pouchetii (Fig 14), donde se detectaron de 10 a 20 μmol Eq Glucosa/l con un máximo de 25 μmol Eq Glucosa/l; mientras que en la zona de agua del Mar del Norte fueron de solo 1-5 μmol Eq Glucosa/l. Las concentraciones detectadas disminuyen de la costa hacia mar abierto siguiendo las isolíneas de batimetría. El máximo de Carbohidratos Disueltos Totales coincidió con el máximo de número de células de Phaeocystis pouchetii/l, y la correlación entre ambos factores en el área de florecimiento fué altamente significativa con $r = 0.834$ ($p = 0.01$, Tabla 2). En la misma área la correlación entre salinidad y Carbohidratos Disueltos Totales no fué significativa (Tabla 2), lo cual desecha la posibilidad de que los carbohidratos detectados provengan de la descarga fluvial.

Las concentraciones de Carbohidratos Disueltos Totales detectados durante el crucero han sido las más elevadas que se hayan medido en la zona ó en cualquier otra zona del océano (Tabla 1), en la cual los resultados sean comparables.

Phaeocystis pouchetii excreta entre 35 y 64 % de la producción primaria total (Guillard y Hellebust, 1971; Colijn, 1984). Al momento de finalizar el florecimiento la excreción de material orgánico termina igualmente, pero el material del cual están hechas las enormes colonias gelatinosas de Phaeocystis pouchetii, principalmente polisacáridos, aumentan considerablemente la concentración de materia orgánica disuelta en el medio marino.

Estas grandes cantidades de carbono orgánico disuelto son formadas en un período de solo unas cuantas semanas y al terminar el florecimiento la materia orgánica debería ser degradada rápidamente. Sin embargo, en florecimientos de Phaeocystis pouchetii se han detectado varios efectos combinados los cuales permitirían la acumulación de materia orgánica disuelta. Por un lado es sabido que Phaeocystis excreta igualmente al medio ácido acrílico (Sieburth, 1960, 1964), sustancia antibiótica



a) 2.5 m b) 5.0 m

FIGURA 14. Isolíneas de concentración de Carbohidratos Disueltos Totales a 2.5 y 5.0 m de profundidad (μM Equivalentes de Glucosa/l).

TABLA 1. CARBOHIDRATOS DISUELTOS TOTALES REPORTADOS EN LA LITERATURA.

AUTORES	AREA DE ESTUDIO	CONCENTRACION (μ M Eq Glucosa/l)
Walsh y Douglas	(1966) Mar de los Sargazos	1.5 - 4.1
Burney y Sieburth	(1977) O Atlántico N.	2.5 - 11.2
Burney <u>et al</u>	(1979) O Atlántico N.	0.1 - 3.2
Kawahara <u>et al</u>	(1967) Mar de Japón	0 - 4.1
Mopper <u>et al</u>	(1980) Mar del Norte	0.3 - 1.5
Ittekkot <u>et al</u>	(1980) Mar del Norte	0.2 - 2.2
Shakugawa y Handa	(1985) O Pacífico N.	2.0 - 2.7
Burney	(1986) Mar Bering	0.5 - 1.1
	Florida	3.2 - 3.4
	Bermuda	1.7 - 2.0
	Hawaii	1.6 - 1.9
Brockmann	(1988) Bahía Alemana	1.0 - 4.0
ESTE TRABAJO	Bahía Alemana	1.5 - 25.0

que inhibe a organismos heterótrofos. En los alrededores de Helgoland, pocos días después de este estudio, se acumularon grandes cantidades de espuma en las playas las cuales contenían grandes cantidades de bacterias saprofiticas, lo que indicaba que al pasar el florecimiento la población bacteriana ya había aumentado. Estos resultados los confirmaron Admiraal y Veldhuis (1985), que determinaron la actividad bacteriana asociada a florecimientos de Phaeocystis pouchetii y encontraron que los florecimientos bacterianos se produjeron cerca de dos semanas después - del florecimiento del alga, permitiendo de esta manera que cantidades - importantes de materia orgánica escapen a la degradación bacteriana directa. Gossel y Delemont (1986) midieron ácido acrílico durante un florecimiento de Phaeocystis pouchetii en el Mar del Norte. La concentración detectada fué bastante inferior a la necesitada para la inhibición bacteriana medida in vitro y concluyeron que no hay tal inhibición de

la actividad heterotrófica por lo menos por el ácido acrílico excretado al medio. Además de las bacterias, los organismos filtradores tienen una actividad limitada debido a las colonias viscosas y gelatinosas del alga (Gieskes y Kraay, 1977; Joiris et al, 1982).

TABLA 2. RELACIONES de Carbohidratos Disueltos Totales, Nitrógeno Orgánico Disuelto Total y Salinidad a la concentración de P pouchetii/l; de Carbohidratos Disueltos Totales y Nitrógeno Orgánico Disuelto Total a Salinidad y de Carbohidratos Disueltos Totales a Nitrógeno Orgánico Disuelto Total. Forma de la ecuación $Y = a + bx$
 $\epsilon = p = 0.01$ $* = p = 0.05$

Y	a	b	X	n	r
C.D.T.	ϵ 7.48	0.09	conc <u>Ph.p.</u>	12	0.834
N.O.D.T.	ϵ 16.18	0.17	" " "	12	0.938
SALINIDAD	* 30.73	0.02	" " "	12	0.04
N.O.D.T.	*136.7	-3.67	SALINIDAD	12	-0.617
C.D.T.	* 68.4	-1.89	" "	12	-0.408
C.D.T.	* 11.2	1.2	N.O.D.T.	12	0.819

Esto significa que las características muy peculiares de los florecimientos de Phaeocystis producen condiciones especiales en la zona de la Bahía Alemana como son la eficiencia reducida del zooplancton durante el florecimiento, reportada por otros autores (Joiris et al, 1982; --- Weisse et al, 1984); la acumulación de los productos orgánicos disueltos durante y después del florecimiento y seguramente el flujo aumentado de material fitoplanctónico hacia los sedimentos.

En cuanto a la fuente de la materia orgánica disuelta detectada, la relación atómica C : N de Carbohidratos Disueltos Totales/Nitrógeno Or-

gánico Disuelto Total para las áreas de florecimiento en este estudio fué de 6.2; la cual es similar a la relación en fitoplancton en el Mar del Norte de 6.0 (Lancelot y Billen, 1984). Esta similitud refuerza la aseveración de que en este florecimiento de Phaeocystis pouchetii las sustancias orgánicas disueltas aquí determinadas provienen de los productos de descomposición parcial del alga y no son productos extracelulares de la misma. El florecimiento de Phaeocystis llegaba a su fin y esto implica que la excreción de Carbohidratos se vería reforzada, más que la excreción de compuestos nitrogenados, con lo cual la relación C : N sería mayor (Veldhuis, 1985).

5. CONCLUSIONES.

Mediante los análisis de nutrientes, concentración de Phaeocystis pouchetii, Carbohidratos Disueltos Totales y Nitrógeno Orgánico Disuelto Total pudieron llegarse a las siguientes conclusiones:

1. El sistema fluvial eutrofica la bahía especialmente en las zonas al este y al sur de la misma, donde la relación Nitratos/Fosfatos se haya alterada, presentando una relación mayor de 1:10.
2. Las zonas de florecimiento más intenso al momento del muestreo son frente a las Islas de Frisian del Este y frente a las Islas de Frisian del Norte. El florecimiento de Phaeocystis pouchetii es consecuencia de la eutroficación de la Bahía Alemana y la intensidad mayor del florecimiento se presenta donde la eutroficación es máxima, excluyendo el factor de restricción en salinidades menores a 29 ‰.
3. La concentración de Carbohidratos Disueltos Totales y de compuestos nitrogenados orgánicos detectada fué muy elevada y provino del florecimiento masivo de Phaeocystis pouchetii.
4. Se estima que el efecto del ácido acrílico sobre el medio es limitado y tanto el desfaseamiento entre el florecimiento planctónico y el bacteriano como la reducción de la eficiencia en el pastoreo y de organismos filtradores provocan la acumulación exagerada de materia orgánica disuelta.
5. El presente estudio hace aparente uno de los efectos más nocivos de la eutroficación de aguas costeras, esto es, florecimientos de tal magnitud que se acumula materia orgánica a niveles no detectados antes. Se espera que la metodología de los estudios aquí reportados -- tengan utilidad en la investigación de florecimientos de fitoplancton en México.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA.

- ADMIRAAL, W. y M.J.W. VELDHUIS, 1985. Bacterial activity associated with blooms of Phaeocystis pouchetii in the North Sea. Workshop on the ecology and physiology of Phaeocystis pouchetii. Groningen, 21 Feb 1985.
- ARMSTRONG, F.A.J. y G.T. BOALCH, 1960. Volatile organic matter in -- algal culture media and sea water. Nature, Londres, 185: 761-762.
- BACKHAUS, J., 1979. First results of a three dimensional model on the dynamics in the German Bight. In: Marine forecasting. J.C.J. --- Nihoul (ed). Amsterdam, Elsevier. pp 333.
- , 1980. Simulation von Bewegungsvorgaengen in der Deutsch en Bucht. Dt. hydrogr. Z. Erg.-H.B, (15).
- BADA, J.L. y C. LEE, 1977. Decomposition and alteration of organic - compounds dissolved in seawater. Mar.Chem, 5: 523-534.
- BADIN, J., C. JACKSON y M. SCHUBERT, 1953. Proc.Soc.Expl.Biol.Med., 84: 288-291, citado por Grasshoff, K., M. Ehrhardt y K. Kremling, 1983. Methods of Sea-water Analysis. Verlag Chemie. Weinheim, 260 pp.
- BILLEN, G., 1978. A budget on nitrogen recycling in North Sea sediments off the Belgian coast. Estuar.Coast.Mar.Sci., 7: 127-146.
- BOALCH, G.T., 1984. Recent Blooms on the western English Channel. I.C.E.S. Special Meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events. Copenhagen, 4-5 Oct 1984.
- BRITANNICA ATLAS, 1984. Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago. 231 pp
- BROCKMANN, U.H., 1988. Geloeste Kohlenhydrate in der Deutschen Bucht 1986-1988. Intern Report, Univ Hamburg. 5 pp.
- , V. ITTEKOT, G. KATTNER, K. EBERLEIN y K.D. HAMMER, 1983. Release of Dissolved Organic Substances in the Course of : Phytoplankton blooms. In: North Sea Dynamic. Suendermann, J. y W. Lenz (eds). Springer. Berlin. p. 530-572.

- BUNDESANSTALT HELGOLAND, 1982. Jahresbericht 1981. Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg, 25: 57-58.
- BURNEY, C.M., 1986. Diel dissolved carbohydrate accumulation in -- coastal waters of South Florida, Bermuda and Oahu. Estuar.coast. shelf: Sci., 23: 197-203.
- , J.M. SIEBURTH, 1977. Dissolved carbohydrate in sea-water: II. A Spectrometric procedure for total carbohydrate analysis and polysaccharide estimation. Mar.Chem., 5: 15-28.
- , K.M. JOHNSON, D.M. LAVOIE y J.M. SIEBURTH, 1979. Dissolved carbohydrate and microbial ATP in the North Atlantic: concentrations and interactions. Deep-Sea Res., 26: 1267-1290.
- CAUWET, G., 1981. Non living particulate matter. In: Duursma, E.K. y R. Dawson (eds). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography Series 31, Amsterdam. p. 71-90.
- COLIJN, F., 1984. Characteristics of primary production in the Dutch Wadden Sea. Neth Institute for Sea Res. Pub. Series 10: 41-50.
- DAWSON, R. y G. LIEBEZEIT, 1981. The analytical methods for the characterisation of organics in seawater. In: Duursma, E.K. y R. Dawson (eds). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography Series 31. Amsterdam. p. 445-496.
- DETHLEFSEN, V., 1984. Diseases in North Sea fishes. Helgolaender Meeresunters., 37: 353-374.
- y H. von WESTERHAGEN, 1983. Oxygen deficiency and effects on bottom fauna in the eastern German Bight. Meeresforsch., 30 (1): 42-53.
- DREBES, G. 1974. Marines Phytoplankton: Eine Auswahl der Helgolaender Planktonalgen. Georg Theme Verlag. Stuttgart. 186 pp
- EBERLEIN, y K.D. HAMMER, 1980. Automatic determination of total carbohydrates in seawater. Z.Anal.Chem., 301: 17-19.
- , M.T. LEAL, K.D. HAMMER y W. HICKEL, 1985. Dissolved organic substances during a Phaeocystis pouchetii bloom in the German Bight (North Sea). Mar.Biology, 89: 311-316.

- EHRHARDT, M., 1977. Organic substances in seawater. Mar. Chem., 5: 307-316.
- FAIRBRIDGES, R.W., 1966. The Encyclopaedia of Oceanography. Vol I y II. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. Nueva York. 923 y 1014 pp
- POTT, B., 1971. Algenkunde. Gustav-Fischer-Verlag. Stuttgart. 581 pp
- FRANSZ, H.G., 1985. Copepod populations and Phaeocystis blooms in the Southern Bight of the North Sea. Workshop on the ecology and physiology of Phaeocystis pouchetii. Groningen. 21 Feb 1985.
- GAGOSIAN, R.R. y C. LEE, 1981. Processes controlling the distribution of biogenic organic compounds in seawater. In: Duursma, E.K. y R. Dawson (eds). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography --- Series 31. Amsterdam. p. 91-124.
- GIESKES, W.W.C. y G.W. KRAAY, 1975. The phytoplankton spring bloom in dutch coastal waters of the North Sea. Neth.J. Sea Res., 9, (2): 166-196.
- , 1977. Primary production and consumption of organic matter in the southern North Sea during the spring bloom of 1975. Neth.J. Sea Res., 11, (2): 146-167.
- GILLBRICHT, M., 1982. A red tide in the Southern North Sea during -- Summer/Autumn 1981. I.C.E.S. Special meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events. Copenhagen. 4-5 Oct 1984.
- GOEDECKE, E., 1968. Ueber die hydrographische Struktur der Deutschen Bucht im Hinblick auf die Verschmutzung in der Konvergenzzone. Helgolander wiss.Meeresunters., 17: 106-125.
- GOLDMAN, J.C., 1976. Identification of nitrogen as a growth limiting nutrient in waste waters and coastal marine waters through continuous culture algal assays. Water Res., 10: 97-104
- GORSHKOV, S.G. (ed), 1978. World Ocean Atlas. Vol 2: Atlantic and -- Indian Ocean. Pergamon Press. Oxford. 500 pp.
- GRASSHOFF, K., M. EHRHARDT y K. KREMLING, 1983. Methods of Sea-water Analysis. Verlag Chemie. Weinheim. 357 pp.

- GRIMM, N. y T. WEISSE, 1985. Die Temperaturabh angigkeit des Wachstums von Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae) im Batchkulturen. Helgolaender Meeresunters., 39, (2): 201-211.
- GROSSEL, H. y R. DELESMONT, 1986. The microflagellum Phaeocystis and the heterotrophic marine bacteria production. Actes colloq. IFREMER 1: 351-359.
- GUILLARD, R.R.L. y J.A. HELLEBUST, 1971. Growth and the production of extracellular substances by two strains of Phaeocystis pouchetii. J. Phycol., 7: 330-338.
- GUNKEL, W., 1982. Mikrobiologisch-chemische Untersuchungen am Meeres schaum. Jahresbericht der Biol. Anst. Helgoland 1981., 1982: 49-50.
- HAGMEIER, E., 1978. Variations in phytoplankton near Helgoland. Rapp.P.-V. Reun.Cons.int.Explor.Mer, 172: 361-363.
- HAINBUCHER, D., J.O. BACKHAUS y T. POHLMANN, 1986. Atlas of climatological and actual seasonal circulation patterns in the North Sea and adjacent shelf regions: 1969-1981. Tech. Rep., Inst. Meeresk., Univ. Hamburg. 1: 1-201.
- HELLEBUST, J.A., 1974. Extracellular products. In: Stewart, W.D.P. - (ed). Algal Physiology and Biochemistry. Botanical Monographs 10. Blackwell. Oxford. p. 838-863.
- HENRICHS, S.M. y P.M. WILLIAMS, 1985. Dissolved and Particulate amino acids and carbohydrates of the sea surface microlayer. Mar.Chem., 17: 141-163.
- HICKEL, W., 1980. The influence of Elbe River water on the Wadden Sea of Sylt (German Bight, North Sea). Dt.hydrogr.Z., 33: 43-52.
- ITTEKOT, V., U.H. BROCKMANN, W. MICHAELIS y T. DEGENS, 1980. Dissolved Free and combined Carbohydrates during a Phytoplankton bloom in the northern North Sea. Mar.Ecol.Progr.Ser., 4: 299-305.
- JOIRIS, C., G. BILLEN, C. LANCELOT, M.H. DARO, J.M. MOMMAERTS, A. BERTELS, M. BOSSICART y J. NIJS, 1982. A budget of carbon cycling in the Belgian coastal zone relative roles of zooplankton, bacterioplankton and benthos in the utilization of primary production. Neth.J.Sea Res., 16: 260-275.

- JONES, P.G.W. y S.M. HAQ, 1963. The distribution of Phaeocystis in the Eastern Irish Sea. J.Cons.Int.Explor.Mer., 28: 8-20.
- JOSEFSSON, B., L. UPPSTROEM y G. OESTRLING, 1972. Automatic spectrophotometric procedure for the determination of the total amount of dissolved carbohydrates in sea water. Deep-Sea Res., 19: 385-395.
- KAWAHARA, H., J. MAITA y J. ISHII, 1967. Studies on the organic matter in sea water. I. The distribution of carbohydrate in waters of Southern Hokkaido. Bull.Jap.Soc.Sci.Fish., 33: 825.
- KAYSER, H., 1970. Experimental-ecological investigations on Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae): cultivation and waste water test. Helgol.wiss. Meeresunters., 20: 195-212.
- KLUMP, J.V. y C.S. MARTENS, 1983. Benthic nitrogen regeneration. In: Carpenter, E.J. y D.G. Capone (eds). Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press. Boston. p. 117-143.
- KOEHLER, A., U. HARMS y B. LUCKAS, 1986. Accumulation of organochlorines and mercury in flounder - an approach to pollution assessments. Helgolaender Meeresunters., 40: 431-440.
- KOROLEFF, F., 1977. Simultaneous persulphate oxidation of phosphorus and nitrogen compounds in water. In: Grasshoff, K., K. Kremling, M. Ehrhardt y C. Osteroth (eds). Report of the Baltic Intercal. Workshop, Univ. Kiel. Annex 36-37.
- LANCELOT, G., 1984. Metabolic changes in Phaeocystis pouchetii (Harricot) Lagerheim during the spring bloom in Belgian coastal waters. Estuar.cstl. Shelf Sci., 18: 593-600.
- y G. BILLEN, 1984. Activity of heterotrophic bacteria and its coupling to primary production during the spring phytoplankton bloom in the southern bight of the North Sea. Limnol.Oceanogr., 79, (4): 721-730.
- y S. MATHOT, 1986a. Biochemical fractionation of primary production by phytoplankton in Belgian coastal waters during short- and long-term incubations with ¹⁴C-bicarbonate. I. Mixed diatom - population. Mar. Biology, 86: 219-226.

- , 1986b. Biochemical fractionation of primary production by phytoplankton in Belgian coastal waters during short- and long-term incubations with 14 C-bicarbonate. II. Phaeocystis pouchetii colonial population. Mar. Biology, 86: 227-332.
- MAC KINNON, M.D., 1981. The measurement of organic carbon in seawater. In: Duursma, E.K. y R. Dawson (eds). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography Series 31. Amsterdam. p. 415-444.
- MARGALEFF, R., 1980. Ecología. Ed Omega. Barcelona. 951 pp.
- MARTENS, P., 1978. Contribution to the hydrographical structure of the eastern German Bight. Helgoländer wiss. Meeresunters., 31: 414-424.
- MICHAELIS, H., 1981. Recent changes in the communities of the Wadden Sea- natural phenomena of effects of pollution. BiolMeddr., 5: 87.
- , 1983. Oekologische Untersuchungen zur Fruchjahrsblüte von Phaeocystis pouchetii. Wadden Sea Newsletter., 2: 12-13.
- MOPPER, K., R. DAWSON, G. LIEBEZEIT y H.P. HANSEN, 1980. The monosaccharide spectra of natural waters. Anal. Chem., 52: 2018-2022.
- NIENHUIS, P.H., 1981. Distribution of Organic Matter in living marine organisms. In: Duursma, E.K. y R. Dawson (eds). Marine Organic -- Chemistry. Elsevier Oceanography Series 31. Amsterdam. p. 31-70.
- PARRISCH, C.C., 1988. Dissolved and particulate marine lipid classes: A review. Mar. Chem., 23: 17-40.
- RACHOR, E., 1980. The inner German Bight -an ecological sensitive area as indicated by the bottom fauna. Helgoländer Meeresunters., 33: 522-530.
- RADACH, G., 1984. Variations in the plankton in relation to climate. Rapp.P.-v.Réun.Cons.int.Explor.Mer, 185: 234-254.
- RILEY, J.P., 1971. Dissolved and particulate organic compounds in the sea. In: Riley, J.P. y R. Chester (eds). Introduction to Marine - Chemistry. Academic Press. Nueva York. p. 182-215.
- y R. CHESTER, 1971. Introduction to Marine Chemistry. Academic Press. Londres. 465 pp.

- RYTHER, J.H. y W.M. DUNSTAN, 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. Science, 171: 1008-1013.
- SAVAGE, R.E., 1930. The influence of Phaeocystis on the migration of the herring. Fish Invest., (Ser 2), 12:5-14.
- SHAKUGAWA, H. y H. HANDA, 1985. Chemical studies on dissolved carbohydrates in the water samples collected from the North Pacific and Bering Sea. Oceanol. Acta, 8: 185-196.
- SIEBURTH, J.M., 1954. Antibacterial activity of Antarctic marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr., 4: 419-424.
- , 1960. Acrylic acid, an antibiotic principle in Phaeocystis blooms in Antarctic waters. Science, 132: 676-677.
- , 1964. Antibacterial substances produced by marine algae. Dev. ind. Microbiol., 5: 124-134.
- SMITH, R.E.M., W.G. HARRISON y L. HARRIS, 1985. Phosphorus exchange in marine microplankton communities near Hawaii. Mar. Biology, 86: 75-84.
- STUMM, W. y P.A. BRAUNER, 1975. Chemical Speciation. In: Riley, J.P. y G. Skirrow (eds). Chemical Oceanography. Vol I. Academic Press. Londres. p. 125-143.
- UNESCO, 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monogr. oceanogr. Methodol. (UNESCO), 1: 1-66.
- UTERMOEHL, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitt. int. Ver. theor. angew. Limnol., 9: 1-38.
- VELDHUIS, M., 1985. Physiological experiments on Phaeocystis pouchetii in field samples and cultures. Workshop on the ecology and physiology of Phaeocystis pouchetii. Groningen. 21 Feb 1985.
- , F. COLIJN y L.A.H. VENEKAMP, 1986. The spring bloom of Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae) in Dutch coastal waters. Neth. J. Sea Res., 20: 37-48.
- WAFAR, M., P. LE CORRE y J.-L. BIRRIEN, 1984. Seasonal changes of dissolved organic matter (Carbon, Nitrogen, Phosphorus) in permanently

- well mixed temperate waters. Limnol.Oceanogr., 29; 1127-1132.
- WALNE, P.R., 1974. Culture of bivalve molluscs- 50 years experience at Cowny. Fishing News, Ltd. Londres. 173 pp.
- WALSH, G.E. y J. DOUGLAS, 1966. Vertical distribution of dissolved carbohydrate in the Sargasso Sea off Bermuda. Limnol. Oceanogr., 11: 406-408.
- WEICHART, G., 1980. Chemical changes and primary production in the Fladen Group area (North Sea) during the first phase of a spring bloom. "Meteor" Forsch. Ergebn. (A), 22: 79-86.
- , 1984. Unusually high pH values in the German Bight as an indication of strong primary production. I.C.E.S. Special Meeting on the Causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events. Copenhagen. 4-5 Oct 1984.
- WEISSE, T., 1982. Ueber die Auswirkung einer Phaeocystis pouchetii Blute auf die dominierenden Copepodenarten der Nordsylder Wattenmeres. Diplomarbeit. Univ. Kiel. 95 pp.
- , N. GRIMM y P. MARTENS, 1984. Phaeocystis pouchetii blooms in the German Wadden Sea area off Sylt. I.C.E.S. Special Meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events. Copenhagen. 4-5 Oct. 1984.
- , W. HICKEL y P. MARTENS, 1986. On the causes and dynamics of Phaeocystis pouchetii blooms in the Wadden Sea of Sylt (German Bight, North Sea). Estuar. costl. Shelf Sci., 23: 53-60.
- WILLIAMS, P.J. LE B., 1975. Biological and chemical aspects of dissolved organic matter in sea water. In : Riley, J.P. y G. Skirrow (eds). Chemical Oceanography. Vol II. Academic Press. Londres. p. 301-363.
- , 1981. Incorporation of microheterotrophic processes into the classical paradigm of the planktonic food web. Kieler Meeresforsch. Sonderh., 5: 1-28.
- ZHOU, X y P.J. WANGERSKY, 1987. Characterization of marine organic matter by thin-layer chromatography with flame ionization detection. Mar. Chem., 20: 211-218.

A P E N D I C E 1

Valores de nutrientes a 2.5 m de profundidad

Estación	Temp °C	Sal ‰	Clorofila µg/l	NO ₃ -NO ₂ µg-atN/l	SiO ₂ µg-atSi/l	PO ₄ µg-at P/l	NH ₄ µg-at N/l	NODT µg-at N/l	CDT µg Eq Glucosa/l
1	13.75	-	-	-	-	-	-	-	-
3	13.76	31.39	0.23	0.19	0.59	7.0	1.47	18.20	8.06
5	13.77	31.60	0.23	0.49	0.92	7.0	4.32	24.37	12.30
7	14.31	31.39	0.23	0.42	2.28	10.9	5.30	13.43	13.30
9	14.72	30.74	0.46	0.04	2.82	14.0	0.91	21.51	14.5
11	13.63	30.80	3.87	0.06	10.10	19.2	1.11	40.8	19.8
13	13.63	31.30	2.94	0.18	5.47	20.0	0.43	29.6	16.0
14	13.17	31.93	0.40	0.04	2.04	2.1	0.40	25.4	5.6
16	13.18	31.96	0.40	0.63	2.56	2.8	3.50	15.70	6.8
18	13.10	32.04	0.23	0.13	2.75	2.9	3.82	17.72	8.6
20	12.46	32.21	0.31	0.40	3.23	3.1	2.91	16.61	7.1
22	12.32	32.14	0.56	0.50	3.16	4.6	2.21	15.44	6.2
24	12.22	32.20	0.71	0.05	4.34	5.2	0.62	20.51	7.1
26	-	-	1.50	7.02	7.91	1.5	0.34	21.64	7.8
27	14.52	26.14	2.06	37.06	10.96	2.1	3.19	-	-
28	14.91	22.78	1.82	65.54	15.21	4.2	7.76	-	-
35	13.28	32.41	0.46	0.02	1.17	0.1	0.28	21.43	4.8
37	12.96	32.19	0.46	0.32	1.83	0.02	1.92	16.27	5.9
39	-	-	0.31	0.72	2.03	0.02	3.51	18.62	6.2
41	12.57	32.66	-	1.65	1.72	0	4.28	-	-
43	-	-	0.4	1.76	2.59	0.03	2.08	17.39	4.2
45	12.51	31.21	0.79	3.90	3.96	0.04	2.18	16.68	4.3
47	14.21	29.13	1.18	9.09	6.42	0.4	5.97	19.79	7.9
49	15.69	28.19	2.21	0.88	10.80	1.13	3.56	34.12	13.20
50	-	-	0.31	0.14	1.70	0.05	0.52	15.59	4.50
52	13.04	32.20	0.31	0.75	1.78	0.03	3.55	17.14	5.52
54	12.39	32.70	0.23	1.37	1.52	0.01	2.61	12.99	3.51
56	12.24	32.42	0.23	3.79	1.75	0.01	1.22	16.95	2.15
58	12.96	30.70	0.71	6.62	3.00	0.02	2.13	20.26	4.5
60	13.29	30.18	0.55	7.34	3.21	0.1	3.10	17.71	4.6
62	14.08	29.52	1.03	4.47	4.99	0.27	4.25	22.52	6.86
64	15.40	29.75	0.63	0	1.02	0.66	0.74	25.42	11.9
65	12.39	32.67	0.31	0.74	0.86	0.02	2.11	15.33	4.1
67	12.87	32.47	0.31	0.27	1.21	0	0.97	12.3	4.5
69	12.05	32.71	0.31	1.15	1.74	0.02	3.66	14.95	4.1
71	11.70	32.74	0.31	3.98	1.35	0	1.37	13.35	1.9
73	12.46	31.26	0.40	5.34	1.69	0	1.81	16.11	3.6
75	12.92	30.57	0.63	6.05	4.18	0.17	4.63	14.99	4.3
77	14.44	29.34	1.82	0.51	6.57	0.23	4.84	27.92	10.8
79	11.30	33.08	0.23	1.64	1.98	0.1	3.95	13.46	2.6
81	11.56	32.95	0.31	1.45	1.77	0.07	4.10	13.39	2.9
83	11.64	32.79	0.40	3.44	2.14	0.02	2.70	12.23	1.8
85	-	-	1.34	4.30	0.31	0	0.31	10.50	2.4
87	12.07	31.46	0.87	6.53	0.38	0.01	0.93	18.47	3.7

Valores de nutrientes a 2.5 m de profundidad
(Continuación)

Estación	Temp °C	Sal ‰	Clorofila µg/l	NO ₃ -NO ₂ µg-at N/l	SiO ₂ µg-at Si/l	PO ₄ µg-at P/l	NH ₄ µg-at N/l	NOTD µg-at N/l	CDT µg Eq Glucosa/l
89	13.05	29.90	0.71	6.55	5.08	0.09	5.86	18.66	6.5
91	13.63	29.20	2.37	0.17	7.91	0.12	4.62	24.87	12.2
92	11.25	33.35	0.46	1.52	1.26	0.01	2.07	9.91	1.8
94	11.07	32.07	0.31	2.22	1.81	0.03	3.42	11.82	2.3
96	11.60	33.19	0.56	2.85	1.33	0	1.60	12.31	1.5
98	11.98	31.88	1.11	5.59	0.18	0.02	0.40	14.16	2.8
100	12.76	30.98	1.58	3.63	0.06	0.01	0.38	16.78	3.2
102	12.90	30.56	0.93	9.88	1.08	0.06	2.83	15.60	5.8
104	13.61	29.60	0.93	4.58	6.99	0.23	6.77	34.41	8.5
106	11.62	33.21	0.87	1.40	0.16	0.03	0.32	13.53	3.3
108	11.07	32.86	1.42	2.64	0.14	0.01	0.16	14.06	2.3
110	11.88	32.91	1.11	2.30	0.17	0	0.13	11.54	2.1
112	11.71	32.11	1.58	3.98	0.11	0.02	0.34	15.76	2.6
114	12.71	31.17	1.50	6.67	0.13	0.08	0.38	16.10	4.1
116	12.98	30.14	1.58	9.61	0.55	0.1	1.34	23.04	6.4
118	13.33	29.74	1.03	9.51	3.16	0.14	4.51	20.91	7.5
120	10.74	33.47	0.87	1.18	0.52	0.06	0.85	14.03	2.5
122	11.02	32.95	1.58	1.24	0.20	0.05	0.33	14.68	2.0
124	11.52	32.43	1.58	1.24	0.09	0.02	0.31	16.47	2.5
126	11.71	31.99	2.14	1.70	0.41	0.02	0.45	14.49	2.6
128	12.31	31.49	1.90	5.15	0.17	0.01	0.29	14.14	2.8
130	12.62	30.76	2.21	9.80	0.27	0.02	0.51	21.04	5.6
132	13.78	29.98	1.26	1.99	1.94	0.50	4.54	24.42	6.8

A P E N D I C E 2

Valores de nutrientes a 5.0 m de profundidad

Estación	Temp °C	Sal ‰	Clorofila µg/l	NO ₃ -NO ₂ µg-at N/l	SiO ₂ µg-atSi/l	PO ₄ µg-at P/l	NH ₄ µg-at N/l	NO ₃ µg-at N/l	CDT µg Eq Glucosa/l
1	13.75	31.38	0.31	0.43	1.44	4.00	1.25	26.62	7.38
3	13.74	31.48	0.23	0.17	0.70	7.00	1.52	24.94	7.95
5	14.51	31.30	0.23	0.42	0.83	7.0	4.23	28.97	12.10
7	14.31	31.39	0.16	0.19	2.93	6.3	4.98	24.05	12.90
9	14.72	30.74	0.61	0	2.99	7.5	0.80	22.41	14.40
11	14.59	30.81	3.87	0.06	13.06	21.0	0.81	44.79	19.80
13	13.64	31.29	3.48	0.14	6.05	12.0	0.51	30.71	16.1
14	13.17	31.93	0.40	0.08	3.09	3.2	0.71	22.95	5.71
16	13.18	31.95	0.40	0.56	2.68	2.72	3.54	16.75	6.82
18	13.10	32.04	0.31	0.12	2.21	0.80	3.54	19.22	8.69
20	12.44	32.20	0.31	0.53	4.26	9.35	2.97	13.24	7.21
22	12.29	32.14	0.56	0.49	3.79	5.55	2.05	14.87	6.19
24	12.87	31.81	0.63	0.04	3.74	1.96	0.55	16.28	6.83
26	14.11	29.87	1.90	7.02	6.97	0.65	0.34	21.64	7.84
27	14.42	27.17	2.14	32.96	10.52	2.77	2.74	-	-
28	14.91	22.89	1.97	65.54	15.21	4.23	7.76	-	-
35	13.28	32.41	0.55	0.04	1.12	0.06	0.21	17.08	4.71
37	12.96	32.20	-	-	-	-	-	-	-
39	12.45	32.39	0.31	0.74	2.09	0.01	3.57	16.58	5.85
41	12.57	32.65	0.31	1.65	1.72	0	4.28	9.57	3.08
43	11.79	32.33	0.40	1.74	2.75	0.02	2.07	9.91	4.14
45	12.47	31.37	0.79	3.90	3.93	0.04	2.26	12.15	4.31
47	14.20	29.13	1.22	9.11	6.34	0.41	5.93	19.79	7.73
49	15.69	28.18	2.21	0.89	10.67	1.12	3.53	33.91	13.20
50	13.04	32.21	0.31	0.15	1.71	0.04	0.59	16.09	4.76
52	12.56	32.44	0.31	0.73	1.78	0.02	3.48	17.20	5.58
54	12.38	32.70	0.23	1.39	1.52	0.01	2.60	13.82	3.48
56	12.23	32.42	0.16	3.74	1.79	0	1.29	15.65	2.03
58	12.90	30.76	0.87	6.51	3.01	0.02	2.12	18.01	4.31
60	13.40	30.05	0.46	7.33	3.19	0.11	3.17	18.34	4.60
62	14.06	29.52	0.87	4.48	4.85	0.29	4.37	25.05	6.91
64	15.41	29.75	0.63	0	1.05	0.67	0.19	21.38	12.1
65	12.39	32.69	0.31	0.74	0.86	0.02	2.14	17.31	4.05
67	12.88	32.46	0.31	0.26	1.19	0	0.98	17.29	4.58
69	12.05	32.71	0.31	1.16	1.72	0.04	3.65	12.39	4.38
71	11.70	32.75	0.31	4.01	1.34	0	1.42	14.17	1.89
73	12.46	31.28	0.46	5.32	1.71	0	1.79	16.72	3.17
75	12.93	30.57	0.63	6.04	4.16	0.24	4.75	15.45	4.18
77	14.45	29.33	1.58	0.51	6.73	0.23	4.79	28.99	9.95
79	11.30	33.08	0.31	1.66	2.03	0.09	3.90	13.12	2.69
81	11.56	32.96	0.31	1.47	1.79	0.07	4.23	12.62	3.07

A P E N D I C E 2

(Continuación)

Valores de nutrientes a 5.0 m de profundidad

Estación	Temp °C	Sal ‰	Clorofila µg/l	NO ₃ -NO ₂ µg-at N/l	SiO ₂ µg-at Si/l	PO ₄ µg-at P/l	NH ₄ µg-at N/l	NODT µg-at N/l	CDT µg Eq Glucosa/l
83	10.82	32.99	0.40	3.40	2.06	0.03	2.78	10.40	1.65
85	11.73	32.45	0.93	4.31	0.26	0.01	0.34	13.66	2.37
87	12.08	31.47	0.87	6.53	0.39	0	0.89	22.01	3.62
89	13.05	29.90	0.71	6.57	5.27	0.09	6.07	18.03	6.46
91	13.63	29.20	2.37	0.22	7.52	0.15	4.72	33.36	12.60
92	11.25	33.34	0.31	1.54	1.31	0.02	2.17	12.09	1.74
94	11.06	33.08	0.31	2.23	1.85	0.04	3.43	13.72	2.29
96	11.60	33.18	0.46	2.84	1.39	0.05	1.62	12.39	1.54
98	12.22	31.69	1.11	5.60	0.19	0.02	0.42	18.19	2.76
100	12.59	31.44	1.58	3.67	0.15	0	0.47	12.89	3.08
102	12.90	30.56	0.93	1.80	0.02	0.05	2.63	25.34	5.78
104	13.60	29.63	0.93	4.60	6.91	0.22	6.72	31.78	8.62
106	13.57	29.72	0.93	1.40	0.14	-	0.33	12.07	2.65
108	11.07	32.87	1.50	2.65	0.18	0.02	0.26	12.90	2.44
110	11.89	32.92	1.03	2.40	0.19	0.04	0.10	12.51	2.08
112	11.71	32.12	1.58	3.95	0.16	0.04	0.35	17.07	2.73
114	12.72	31.16	1.42	6.67	0.13	0.01	0.35	17.02	3.55
116	12.99	30.15	1.66	9.62	0.51	0.05	1.36	26.53	6.31
118	13.33	29.74	1.11	9.61	3.11	-	4.52	21.79	7.50
120	10.74	33.46	0.79	1.19	0.48	0.05	0.94	13.89	2.42
122	11.02	32.96	1.50	2.25	0.20	0.04	0.33	13.40	1.85
124	11.52	32.44	1.50	1.21	0.05	0.01	0.21	14.48	2.37
126	11.71	32.01	2.29	1.72	0.40	0.03	0.51	17.51	2.78
128	12.32	31.51	2.37	5.16	0.23	0	0.35	16.15	2.92
130	12.63	30.76	2.06	9.80	0.35	0.03	0.47	15.95	5.71
132	13.81	29.97	1.18	1.99	1.81	0.50	4.54	24.42	6.84

A P E N D I C E 3

Diferentes parámetros calculados para la columna de agua

Estación	Delta de sigma-T x 10 ³	Visibilidad del disco Secchi en metros	Concentración de cél. de <u>P. pouchetii</u> /l x 10 ⁶
1	-	6	menor a 0.05
3	0.0002	6	menor a 0.05
5	0.0001	5.5	menor a 0.05
7	0.0020	7.5	menor a 0.05
9	0.0030	4.5	6.0
11	0	1.0	12.0
13	0	1.2	12.0
14	0	7.5	menor a 0.05
16	-0.0001	7.5	menor a 0.05
18	0	7.0	menor a 0.05
20	0.0008	4.5	menor a 0.05
22	0.0011	4.5	2.5
24	0.0025	3.5	3.0
26	0.0142	1.5	4.0
27	0.0342	1.1	7.0
28	0.0045	0.7	4.0
35	0.0011	6.5	menor a 0.05
37	0.0021	5.5	menor a 0.05
39	0.0025	5.0	menor a 0.05
41	0.0024	6.5	1.3
43	0.0051	5.5	0.1
45	0.0102	2.7	menor a 0.05
47	0.0143	1.5	menor a 0.05
49	0.0005	1.5	0.6
50	0.0011	10.0	menor a 0.05
52	0.0026	5.0	menor a 0.05
54	0.0051	7.0	menor a 0.05
56	0.0093	7.5	menor a 0.05
58	0.0165	6.5	0.2
60	0.0150	5.0	menor a 0.05
62	0	3.0	0.05
64	0.0001	3.5	0.1
65	0.0035	6.5	menor a 0.05
67	0.0014	6.5	menor a 0.05
69	0.0042	5.5	menor a 0.05
71	0.0025	7.5	menor a 0.05
73	0.0069	6.0	0.1
75	0.0009	5.0	menor a 0.05
77	0	3.5	1.9
79	-	4.5	0.05
81	0.0004	5.5	menor a 0.05
83	0.0002	6.5	menor a 0.05

A P E N D I C E 3

(Continuación)

Diferentes parámetros calculados para la columna de agua

Estación	Delta de sigma-T $\times 10^{-3}$	Visibilidad del disco Secchi (m)	Concentración de cél. de <i>P. pouchetii</i> /lx 10^6
85	0.0002	5.0	menor a 0.05
87	0.0005	5.0	menor a 0.05
89	0.0005	3.0	0.05
91	0	0.5	3.0
92	0.0001	6.0	menor a 0.05
94	0.0006	6.0	menor a 0.05
96	-0.0001	8.0	menor a 0.05
98	0.0072	5.0	menor a 0.05
100	0.0009	4.5	menor a 0.05
102	0.0001	4.5	menor a 0.05
104	0.0004	0.9	menor a 0.05
106	0.0039	7.0	menor a 0.05
108	0.0047	6.0	menor a 0.05
110	0.0042	5.5	menor a 0.05
112	0.0072	4.0	menor a 0.05
114	0.0035	4.5	menor a 0.05
116	0.0020	4.0	menor a 0.05
118	0.0001	3.5	0.05
120	0.0053	6.0	0.08
122	0.0040	5.0	0.05
124	0.0001	3.5	menor a 0.05
126	0	2.5	menor a 0.05
128	0	3.5	menor a 0.05
130	-0.0001	2.5	menor a 0.05
132	0	1.0	menor a 0.05