

Inv. Pesq	51 (1)	págs 3-21	Marzo 1987
-----------	--------	-----------	------------

Relaciones entre carbono, nitrógeno y clorofila *a* en la ría de Pontevedra, NO de España *

F. G. FIGUEIRAS

Instituto de Investigaciones Marinas
Muelle de Bouzas, s/n 36208 Vigo (Pontevedra)

F. X. NIELL

Departamento de Ecología Facultad de Ciencias
Universidad de Málaga

Palabras clave. Carbono, nitrógeno, clorofila *a*, pycnoclina costera, remineralización, purga, ría de Pontevedra, NO de España

Key words Carbon, nitrogen, chlorophyll *a*, coastal pycnocline, remineralization, red tide, ria of Pontevedra, NW of Spain.

RESUMEN: El análisis de regresión para establecer las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) y clorofila/carbono (Clor/C) en la ría de Pontevedra (1980-81), se revela inadecuado debido a la existencia de tres grupos de datos imposibles de separar *a priori* de modo semejante a como ocurre en el océano. En cualquier caso, el vertido industrial de E.N.C.E.S.A. se identifica fácilmente por los altos valores en la relación C/N. El resto de la ría muestra unas relaciones que varían desde las propias para poblaciones de fitoplancton en crecimiento hasta aquellas características de material en vías de descomposición. Las relaciones Clor /C son mucho más variables que las C/N.

Destaca el hecho de que, en situaciones de total agotamiento de nitratos, no se alcanzan valores de C/N superiores a 15, lo que indica que la remineralización de nutrientes en aguas superficiales debe de ser importante.

Se discute el papel que juega la pycnoclina costera, en la fertilización de la ría, a través de la intrusión, en ésta, de ondas.

Se describen, además de las situaciones estacionales de fertilización y envejecimiento, los valores de una accidental purga de mar.

SUMMARY: RELATIONSHIP BETWEEN CARBON, NITROGEN AND CHLOROPHYLL *a* IN THE RIA OF PONTEVEDRA NW OF SPAIN — Regression analysis is shown to be inadequate to establish carbon : nitrogen (C/N) and chlorophyll *a*: carbon (Chl/C) ratios in the Ria of Pontevedra, owing to the existence of three groups of data which cannot be separated *a priori* in a way similar to that employed in the ocean. Nevertheless, the wastes of the paper industry (ENCESA) are easily identified by their higher C/N ratios. In the rest of the ria, the C/N and Chl/C ratios are the expected ones for growing phytoplankton populations and for decaying matter. The Chl/C ratios are more variables than the C/N ratios.

The values reported are in agreement with those expected for an annual cycle. It is notable that, in situations where nitrates are totally depleted, the C/N ratios do not reach the value of 15. This suggests that nutrient remineralization in surface waters may be important.

The role played by the offshore pycnocline in fertilization of the ria is discussed.

The metabolic versatility of red tide organisms deserves more attention.

* Recibido el 23 de abril de 1986. Aceptado el 15 de septiembre de 1986.
Trabajo financiado por el contrato entre E.N.C.E.S.A. y el Instituto de investigaciones Pesqueras de Vigo.

INTRODUCCIÓN

Una vez descritos el régimen hidrográfico (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), la disponibilidad de nutrientes (FIGUEIRAS *et al.*, 1986) y el ciclo anual de la materia orgánica particulada (FIGUEIRAS y NIELL, 1986) en la ría de Pontevedra, el fin de este trabajo es describir la calidad de esta materia orgánica particulada en la ría, mediante el estudio de las relaciones C/N y Clor./C.

Las variaciones de estas relaciones deben de ser muy bruscas en un ciclo anual, y de ahí su uso como indicador del estado del sistema. También van a utilizarse para comprobar si, con estas relaciones, se confirma la existencia de zonas o áreas, establecidas con otras variables (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), que señalarían la presencia de comunidades distintas de fitoplancton y/o poblaciones en diferente estado fisiológico (GOLDMAN *et al.*, 1979). Además, el C/N permitirá definir, en el interior de la ría, el efecto de un vertido procedente de una fábrica de pasta de papel que se caracteriza, como todas las de su género, por unas elevadísimas relaciones C/N (ISEKI *et al.*, 1984), encontradas también en el sedimento (NIELL, 1980).

Algunos autores consideran que la fiabilidad de estas relaciones, para los propósitos expuestos anteriormente, es dudosa, en especial la de Clor./C (BANSE, 1974, 1977; DESERTOVA, 1981; FALKOWSKI, 1983); no obstante, en un ambiente como las rías, su utilidad debe de ser adecuada, puesto que los ámbitos que se definen son muy diferentes y están bien caracterizados, a escala media, por relaciones como éstas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología, tanto en lo que respecta a la localización de las estaciones como a la recogida y análisis de las muestras y al calendario de las observaciones, está descrita en un trabajo relacionado con el tema (FIGUEIRAS y NIELL, 1986).

Las relaciones entre estas tres variables se estudian, mediante análisis de regresión, con los valores de los cocientes de los datos brutos en el tiempo y en el espacio. Los cocientes se dan en átomos para C/N y en peso para Clor./C.

El análisis de regresión para esta clase de variables ha demostrado su utilidad en el océano abierto (FRAGA, 1976; EPPLEY *et al.*, 1977; LANCELOT, 1980; COPIN-MONTEGUI y COPIN-MONTEGUI, 1983), a pesar de las interferencias que suponen el material detrítico y su independencia de variación, en relación con el vivo, en los valores obtenidos (BANSE, 1974, 1977).

Se probaron distintos tipos de regresión y se vio que la lineal entre cada par de variables era la que mejor se ajustaba a los datos y que la múltiple no aumenta significativamente el ajuste por estar las tres variables bastante correlacionadas entre sí.

Sabido que la variabilidad, mes a mes, es importante, se hizo el análisis de regresión, para cada mes, por separado, tratando aparte los valores claramente contaminados por el vertido industrial.

RESULTADOS

RELACIONES C/N Y CLOR /C

El cuadro I recoge todos los análisis mensuales. Figuran valores negativos de la ordenada en el origen, lo cual no tiene sentido desde los puntos de vista químico y biológico.

La figura 1 representa lo hallado con todas las relaciones agrupadas. El vertido de la fábrica destaca claramente por sus elevadas relaciones C/N, tan sólo encontradas en la superficie de E9 (fig. 1A; gráfico de la izquierda), en tanto que las restantes, a lo largo de toda la ría y durante el período de tiempo considerado, varían entre un valor propio de una mezcla de poblaciones de fitoplancton en crecimiento (C/N=7) y el de fitoplancton muerto en descomposición (C/N=19), al que contribuirá algún material celulósico de las estaciones más próximas al lugar del vertido.

La variabilidad es mucho mayor para las relaciones entre la clorofila y el carbono, como se observa en la figura 1B.

La comparación de la figura 1 con el cuadro I hace pensar si es más oportuno abordar el estudio de ambas en la ría a partir de los datos primarios, poniendo atención únicamente en las variaciones muy bruscas.

CUADRO I

Regresión funcional GM (Geometric mean estimate of the functional regression of Y on X) Y = carbono, X = nitrógeno, a = ordenada en el origen, b = pendiente, r = coef. de correlación, $S_{x,y}$ = error de la Y estimada a partir de un X dado, n = número de muestras, n_s = número de muestras separadas del análisis.

Mes	a	b	r	$S_{x,y}$	n_l	n_s
Marzo-80	0,86	8,02	0,96	3,85	30	3
Abril-80	4,57	6,74	0,94	2,60	28	5
Mayo-80	-3,24	8,49	0,84	12,88	33	0
Julio-80	6,77	8,54	0,98	5,61	26	7
Agosto-80	-4,23	12,14	0,94	4,55	28	5
Septiembre-80	7,41	6,37	0,97	4,20	25	8
Octubre-80	9,71	7,74	0,97	8,12	31	2
Noviembre-80	-1,21	8,60	0,94	1,78	27	6
Diciembre-80	2,31	8,61	0,94	1,99	29	4
Enero-81	4,92	6,47	0,92	2,88	25	8
Febrero-81	2,13	6,65	0,77	3,61	23	10
<i>Muestras cortas</i>						
Abril-80	-8,06	9,49	0,96	4,10	18	2
Mayo-80	5,16	7,40	1,00	5,63	17	3
3 junio-80	-9,12	12,05	0,88	5,38	19	1
25 junio-80	-4,05	9,05	0,97	5,62	14	6
Julio-80	no hay ajuste a una recta					
Octubre-80	-0,26	8,95	0,98	3,00	17	3
Noviembre-80	-0,29	10,69	0,98	1,64	16	4
Marzo-81	9,54	6,77	0,94	7,45	18	2

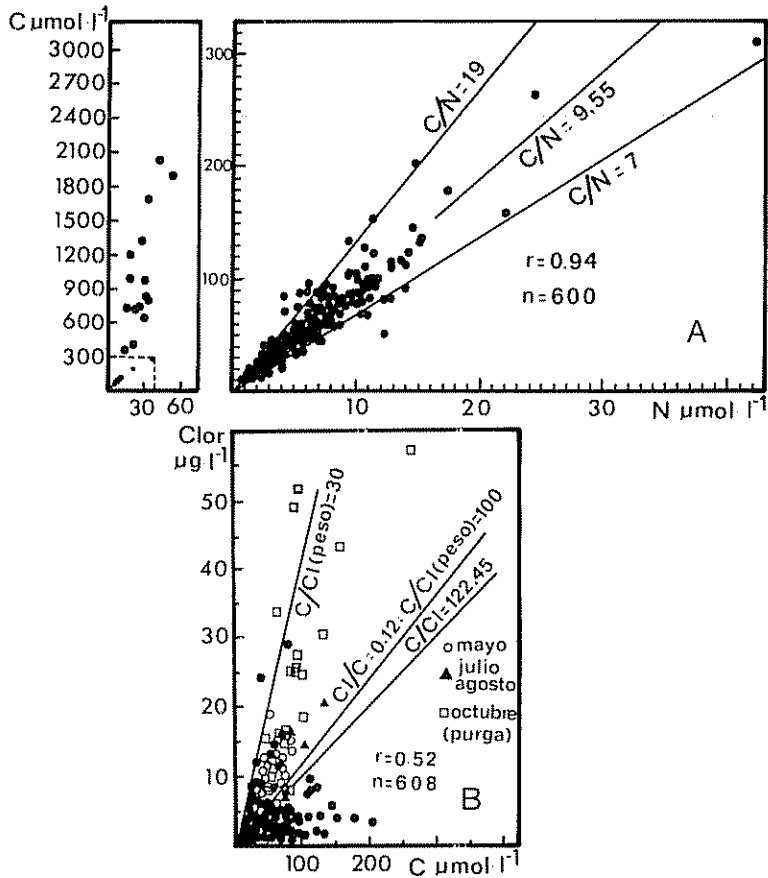


FIG 1 - Relaciones carbono/nitrógeno (A) y clorofila/carbono (B) en la ría de Pontevedra. En A, el gráfico de la derecha es el rectángulo inferior del gráfico de la izquierda aumentado 10 veces. En él se enmarcan todos los puntos menos los de la superficie de E9; la recta con pendiente 9.55 es la del ajuste ortogonal. De B se excluyen los valores de E9-0 metros; la recta con pendiente 122,45 (C/Clor, peso) es la del ajuste ortogonal.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS RELACIONES C/N Y CLOR / C

La figura 2 representa las distribuciones de C/N y Clor./C en las estaciones 1 a 5. Se omite la estación 6 por ser en ella muy conspicua la contaminación de la fábrica en los metros superficiales. Por otra parte, el motivo de la distribución en profundidad no es sustancialmente distinto al de las estaciones que aquí se representan.

En primavera, las relaciones C/N se sitúan próximas a las de Redfield, máxime si se tiene en cuenta que éstos son datos brutos y que, si se les hubiese podido restar el carbono residual, aquéllos habrían bajado al menos en dos unidades (FRAGA, 1976), puesto que los datos de este autor se refieren a una área oceánica y es de esperar que, en estuarios renovados, la cantidad de carbono residual sería mayor. Al mismo tiempo, puede verse que los valores más bajos de C/N se sitúan a profundidades intermedias, donde las condiciones ambientales son apropiadas para un desarrollo masivo sin limitación de nutrientes. En mayo se observan valores bajos en la superficie de las estaciones 4 y 5, debido a que los nutrientes todavía no están agotados (FIGUEIRAS *et al.*, 1986) y la ausencia de vertido industrial no contamina los datos. En el mismo mes, aparecen unos mínimos excesivamente acusados en el fondo de la estación 3, que, por la distribución de la densidad (FIGUEIRAS *et al.*, 1985) y de los nitritos (FIGUEIRAS *et al.*, 1986) pueden achacarse a poblaciones que crecen en la picnoclina, donde el amonio debe de ser abundante (BANSE, 1974), contaminadas con bacterias, puesto que, a bajos valores de C/N, que demuestran una actividad, no se les asocian valores altos de Clor./C que indicarían actividad fotosintética. Dichos mínimos se encuentran en otras épocas y en otras estaciones externas, pero son más obvios en E3 por ser esta zona de la ría la que conserva la estructura de densidad más estable (FIGUEIRAS *et al.*, 1985).

La relación Clor./C, en principio, debería servir para establecer la fracción de carbono orgánico particulado (COP) que corresponde al fitoplacton pero, debido a las adaptaciones fisiológicas que presentan tanto el numerador como el denominador, muy especialmente el primero, la pretensión primera queda invalidada. Sin embargo, los hallazgos sobre el tema descritos en la literatura permiten aceptar que, cuando la luz no es limitante y mucho menos inhibitoria y los nutrientes todavía no se han agotado, el valor de la relación Clor./C en peso toma valores 20×10^{-3} o mayores.

La proliferación de primavera, comentada para la relación C/N, también se contempla en la de Clor./C, si bien, en ésta, los valores son ligeramente inferiores a los esperados, lo que señala la presencia de una fracción apreciable de material carbonado no vivo que, en principio, hay que atribuir a la fábrica. En cualquier caso, ambas relaciones cambian notablemente en mayo, cuando la fábrica no vierte. Los valores más elevados se dan a profundidades intermedias, exceptuando el citado mes.

Los valores altos de Clor./C del mes de mayo en superficie indican que la luz no llegó a alcanzar intensidades inhibitorias. El descenso de la relación en profundidad señala el aporte detrítico por el fondo. De cualquier modo, se puede inferir que, en el período comprendido entre marzo y mayo, el fitoplancton de la ría presenta unas características que permiten deducir un crecimiento no limitado.

Con la llegada del verano, especialmente en los meses de julio y agosto, las relaciones se hacen extremas coincidiendo con una situación de escasez de nutrientes (FIGUEIRAS *et al.*, 1986), de alta intensidad de luz, que puede llegar a la inhibición (FIGUEIRAS y NIELL, 1986), y dominancia de dinoflagelados (FIGUEIRAS, 1985), cuyos valores de C/N son más elevados que los de las diatomeas.

Existen varios aspectos interesantes a considerar, comenzando por el C/N, se

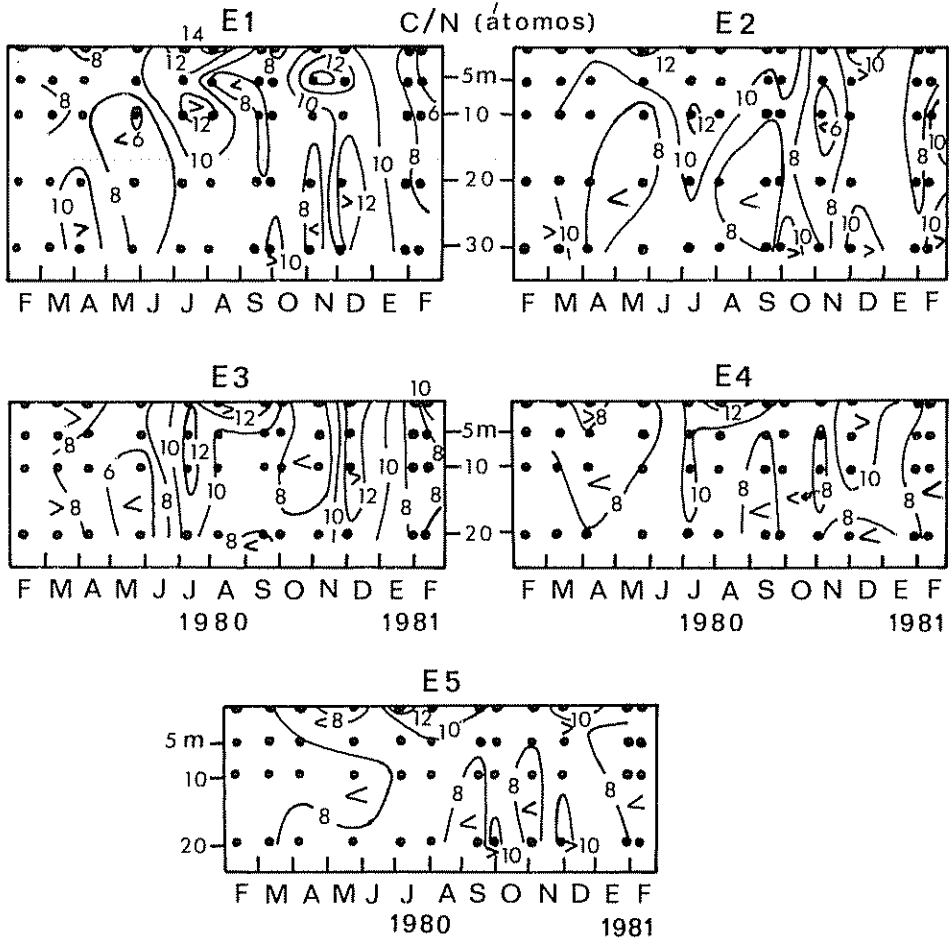


FIG 2 - Distribución temporal de las relaciones C/N y Clor /C en las 5 estaciones más externas de la ría.

observan valores más bajos en profundidad que indican que, en la costa, hay un crecimiento a estos niveles, acompañando la descomposición (compárense las relaciones para los meses de julio y agosto). Por otro lado, los valores de superficie, aunque elevados, teniendo en cuenta que son datos brutos, nunca llegan al valor de 15,05 dado por BANSE (1974) como válido para poblaciones que crecen en situaciones de nitrato limitante como única fuente de nitrógeno. De ello se deduce que la remineralización de nutrientes en el interior de la ría también tiene su importancia en estas épocas del año, si bien, dado el tipo de circulación que opera en las rías, se puede esperar que sea también el agua costera la responsable de este reciclado interno de nutrientes.

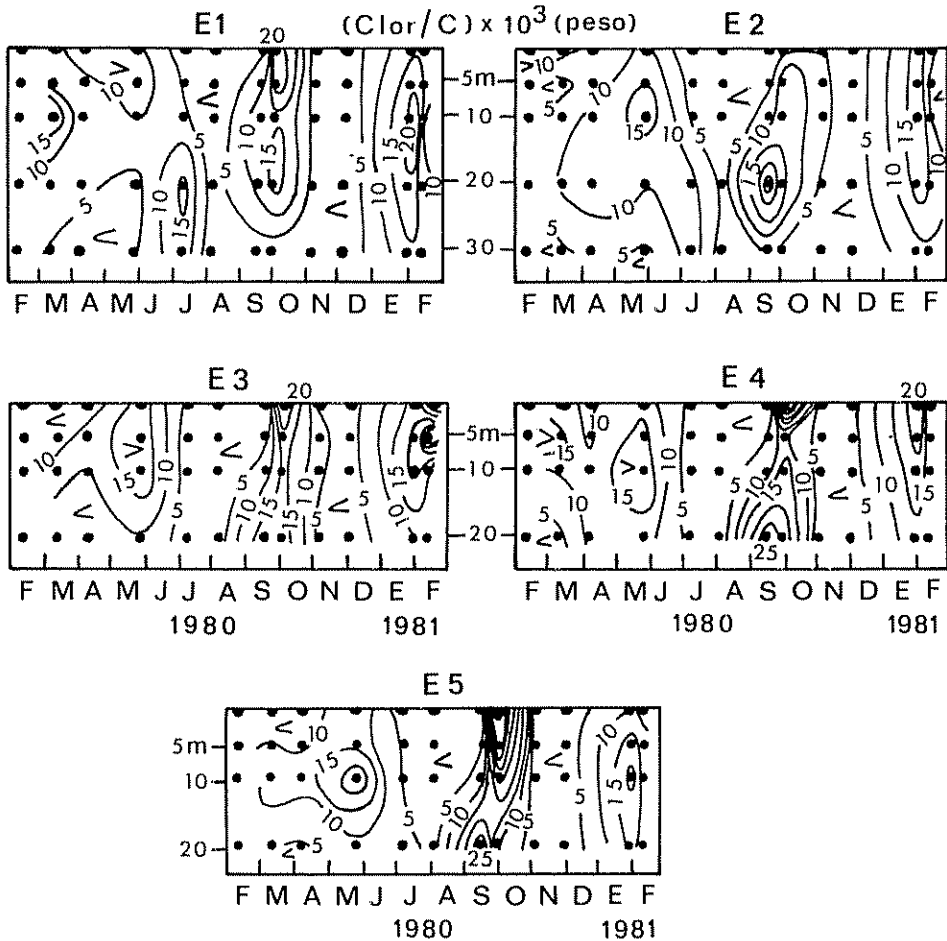


FIG 2 - Continuación

Las bajísimas relaciones Clor./C de estos dos meses no deben interpretarse exclusivamente que se deban a material en franca descomposición, como ya se ha visto con las relaciones C/N, sino que son fruto de la adaptación a unos regímenes de luz mucho más elevados que los del período precedente, sin que pueda descartarse la influencia de los detritos. A esta adaptación también contribuye el carbono en ambas relaciones pues, tal como encontraron HARRISON y PLATT (1980), la producción por unidad de clorofila a , a intensidades de luz saturantes, es mucho mayor en los meses de verano; en este fenómeno debe tener importancia, sin lugar a dudas, la mayor fracción de pigmentos que absorben a longitudes de onda corta presentes en las poblaciones de verano (MARGALEF, 1956; MARGALEF *et al.*, 1955).

Es llamativa la discrepancia en profundidad, entre los meses de julio y agosto, en las dos estaciones externas. En julio, la penetración de organismos ubicados en la picnoclina costera (FIGUEIRAS y NIELL, 1986), adaptados a un régimen de luz bajo, aumenta los valores de las relaciones; mientras que, en agosto, éstos son muy bajos en los 30 metros de profundidad, señalando la intrusión de agua costera en la que la luz es limitante y la materia orgánica particulada se encuentra en estado de incipiente remineralización (véanse las relaciones C/N).

Hacia finales de verano, en septiembre, el aporte de nutrientes oceánicos (FIGUEIRAS *et al.*, 1986) y el descenso en la intensidad lumínica (FIGUEIRAS y NIELL, 1986), contribuyen a que el C/N baje y la Clor./C suba en toda la columna y en toda la ría, si bien mucho menos intensamente en la superficie, como era de esperar a partir de la estructura física (FIGUEIRAS *et al.*, 1985). La adaptación lumínica, con aumento del valor del numerador en Clor./C es obvia, en tanto que el crecimiento del fitoplancton, que alcanza características de una proliferación masiva de diatomeas (FIGUEIRAS, 1985), disminuye la fracción de carbono detrítico y rebaja la relación C/N.

La «purga» del mes de octubre (FIGUEIRAS y NIELL, 1986) se refleja en unas relaciones C/N bajas, como corresponde a organismos que crecen activamente, pero sin llegar a ser tan bajas como las de las proliferaciones de primavera, dado que los organismos susceptibles de manifestarse en «purga» tienen *per se* una composición más elevada en carbono y una tasa de renovación más lenta.

El descenso en la radiación incidente en superficie durante este mes, más la impuesta por la gran densidad de organismos, sitúa las relaciones Clor./C en valores más altos que los del mes de septiembre.

Los bajos valores de C/N del mes de noviembre junto con las importantes concentraciones de nutrientes en la ría no aportadas por el A.C.N.A. (FIGUEIRAS *et al.*, 1986), indican que su origen está en una mezcla de poblaciones que crecen junto con otras en estado no muy avanzado de descomposición. Hay poquísima clorofila, por lo que el carbono presente es de tipo detrítico y activo en la mineralización: vinculado a heterótrofos.

El aumento del C/N y el descenso de Clor./C en el mes de diciembre coincide con una mayor proporción de material detrítico en estado más avanzado de remineralización, así como con la intrusión de A.C.N.A., que impone un mayor grado de mezcla y, a su vez, hace que la luz sea limitante (FIGUEIRAS *et al.*, 1985; FIGUEIRAS y NIELL, 1986). Como consecuencia de esta limitación al crecimiento del fitoplancton, las relaciones Clor./C disminuyen.

En enero de 1981 comienza un nuevo ciclo anual (FIGUEIRAS y NIELL, 1986). Los valores de Clor./C más elevados en enero que en febrero reflejan la adaptación del fitoplancton al régimen de luz.

DISTRIBUCIONES ESPACIALES DE LAS RELACIONES C/N Y CLOR /C

La distribución espacial de estas dos relaciones vuelve a demostrar la importancia que tiene la circulación de la ría a la hora de explicar lo encontrado en las diversas variables que se estudien (fig. 3).

En marzo de 1980, los valores próximos a los que cabe esperar en una proliferación de fitoplancton, no limitada por sales nutrientes y sin inhibición lumínica, se sitúan en las capas intermedias y alcanzan la superficie exactamente en las estaciones donde tiene lugar la elevación ciclónica (FIGUEIRAS *et al.*, 1985). Limitando esta capa intermedia, quedan, por debajo, valores que corresponden a poblaciones condicionadas por la falta de luz y en proceso de remineralización y, en superficie en la zona interna, está presente la influencia de la materia orgánica particulada alóctona.

En abril la ausencia de mezcla física hasta la superficie, en la zona media de la ría (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), no reduce la influencia interna en toda la capa superficial, y la distribución de las dos relaciones es muy semejante a la del mes anterior, con ausencia de los valores extremos en E4 y E5.

La falta de vertidos en el mes de mayo disminuye notablemente la influencia de la zona interna en lo que se refiere a materia orgánica particulada alóctona, permitiendo que los valores esperados para su proliferación primaveral se den en toda la capa superficial, si se excluye la zona interna. La discrepancia, en la orilla sur y en profundidad, de ambas relaciones y la circunstancia de que los valores más bajos de C/N se hallen en la vecindad de la isopícnica de 27,0 (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), apuntan a la posibilidad de que éstos se encuentren influidos por bacterias y detritus en vías de sedimentación. Inmediatamente por encima de dicha isopícnica, los valores de ambas relaciones y muy especialmente los de C/N, indican que se produce un crecimiento del fitoplancton, sin menospreciar la influencia bacteriana.

En julio, como ya se comentó en el apartado dedicado a las distribuciones temporales, se observa un aumento de C/N y una disminución de Clor./C. Con todo, lo más llamativo de este mes es la penetración en la ría de la picnoclina costera que, atendiendo a la distribución de las isopletras, parece hacerlo en forma de ondas. Es curioso observar el cambio de las dos relaciones en las proximidades de las estaciones 4 y 5, que no puede ser más que el resultado de la ruptura de dicha onda en esos lugares, mezclándose sus aguas con las adyacentes.

En agosto la situación es muy semejante a la del mes de julio, con la diferencia básica de que la porción de onda que penetra en la ría corresponde a las capas superiores de la picnoclina, por encontrarse ésta a una profundidad mayor en la costa, como consecuencia del predominio de los vientos del sur (FIGUEIRAS, 1985), desfavorables al afloramiento.

En septiembre, el agua que penetra en la ría por el fondo corresponde a las capas más profundas de agua superficial, acompañadas de las superiores de A.C.N.A. (FIGUEIRAS *et al.*, 1985, 1986). El resultado es el mismo que en los dos meses precedentes pero mucho más destacado, al traer consigo unas concentraciones muy superiores de nutrientes y carecer de consumo por parte de poblaciones costeras.

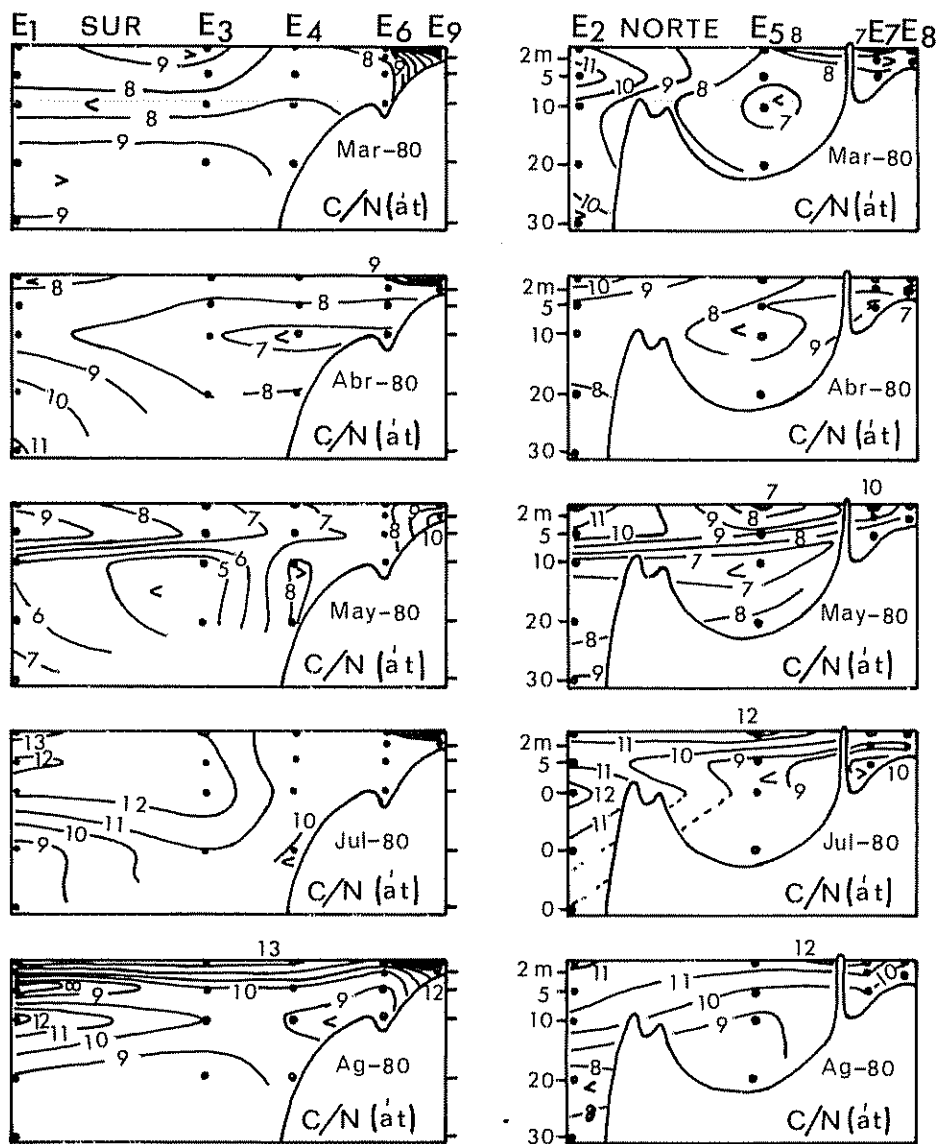


FIG 3 - Perfiles meridionales y septentrionales de las relaciones C/N y Clor / C durante el ciclo anual

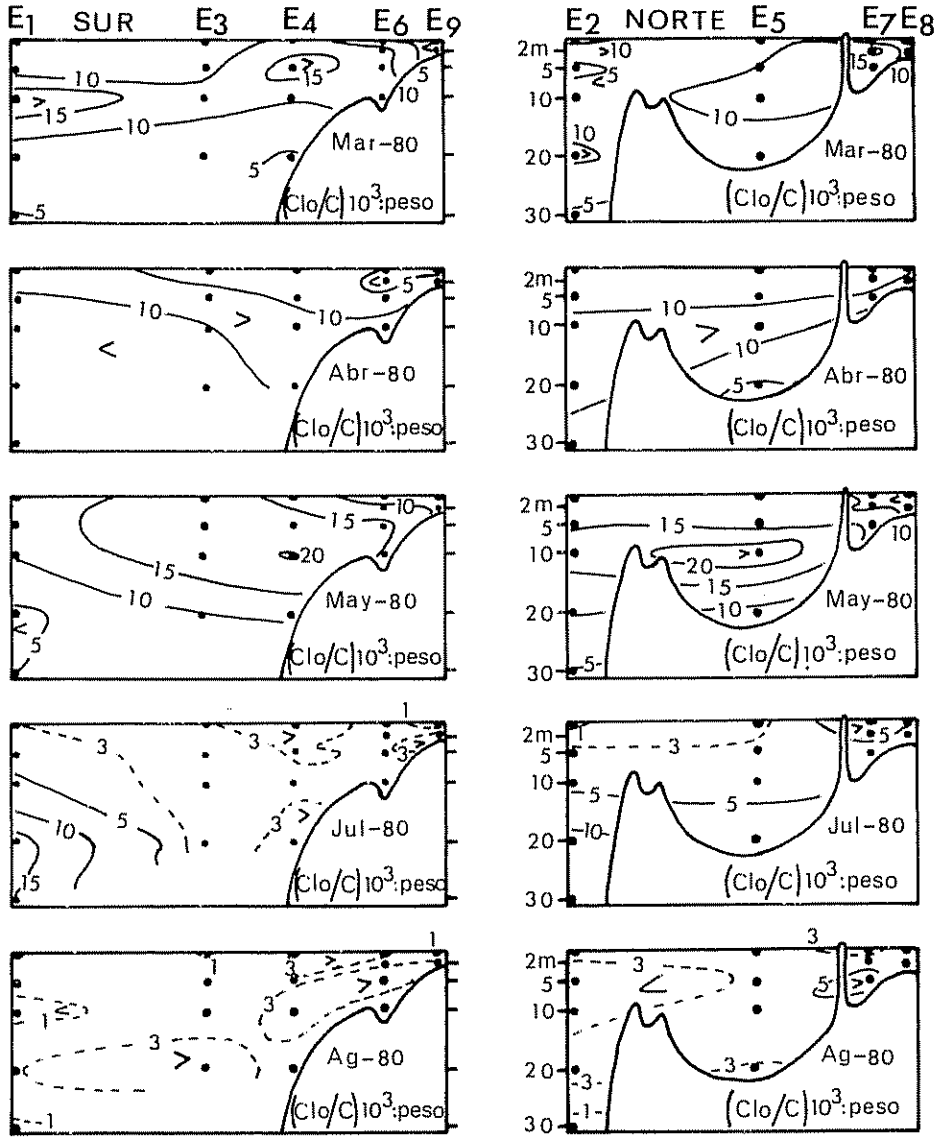


FIG 3 - Continuación I

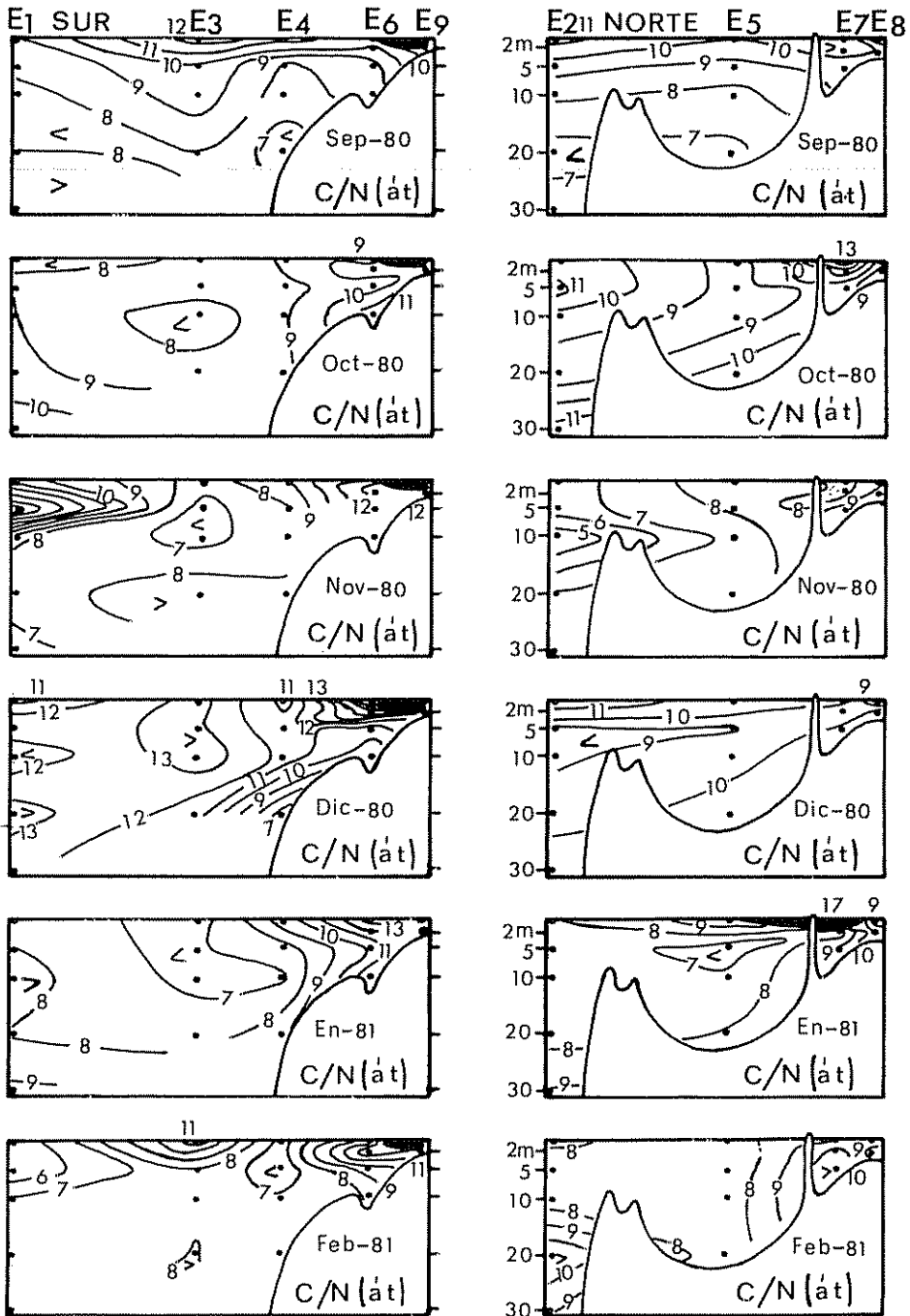


FIG 3 - Continuación 2

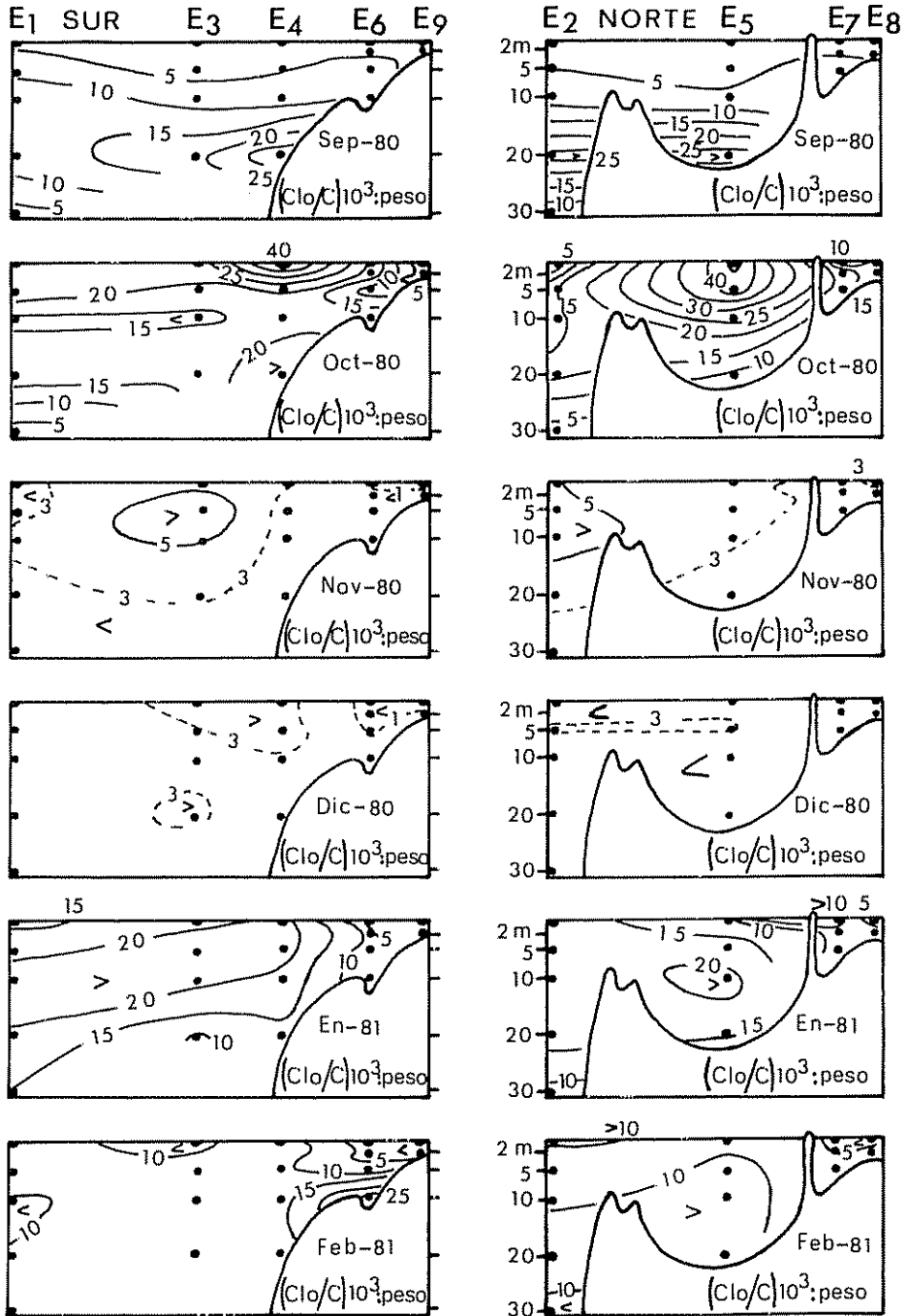


FIG 3 - Continuacion 3

Todo esto comporta un descenso del C/N y un aumento de Clor./C en la ría y más concretamente en la zona del giro ciclónico, e indica que, a diferencia de lo sucedido en julio, se trata de poblaciones que se desarrollan en el interior, agotando los nutrientes aportados por el océano. Podría decirse que lo ocurrido este mes está a caballo entre lo que se dio en los dos meses anteriores y una situación de primavera con afloramiento, en la que la mezcla de las aguas es más uniforme y la propagación de ondas no se detecta mediante estas variables.

En el mes de octubre se presentó una «purga de mar». Dentro de la generalidad de relaciones bajas, hay aspectos que denotan la gran flexibilidad metabólica de los organismos causantes de esta «purga». Los organismos, en su migración diaria hacia el fondo en las últimas horas del día (E2; véase cuadro I en FIGUEIRAS y NIELL, 1986), presentan una relación C/N ligeramente mayor que no va acompañada del correspondiente descenso en Clor./C (haciendo la salvedad de la superficie de E2, donde la migración ya está muy avanzada y la materia orgánica particulada que resta no corresponde a la «purga»); por el contrario, a primeras horas del día, con su migración hacia la superficie, las relaciones C/N bajan (E4 y E5; en E6 este efecto queda enmascarado por los aportes de la fábrica) en tanto que ocurre un aumento acusado de la relación Clor./C.

El paralelismo entre las distribuciones de las dos relaciones y las de salinidad y densidad (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), en el mes de noviembre, lo mismo que la intrusión por el fondo de materia orgánica particulada en estado de incipiente descomposición (C/N), limitado su crecimiento por la luz (Clor./C), son evidentes, si bien el giro, ya trasladado ligeramente hacia el exterior (E3) (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), todavía es capaz de mantener un ligero crecimiento no limitado por la luz. En estas circunstancias de escaso fitoplancton, el material orgánico alóctono gana en importancia, como lo demuestran las elevadas relaciones C/N.

En diciembre se produce una intrusión de capas superiores de A.C.N.A. (FIGUEIRAS *et al.*, 1985) y la distribución de las relaciones es muy semejante a la de los meses de verano, lo que indica la presencia de una onda, con material en estado avanzado de remineralización, que se destruye al penetrar en la ría fertilizándola, aunque sin provocar respuesta masiva en el crecimiento del fitoplancton debido a la escasez de luz y a la homogeneización física que alcanza más allá de la capa fótica (FIGUEIRAS *et al.*, 1985; FIGUEIRAS y NIELL, 1986).

En enero de 1981, el aumento de radiación incidente en superficie sí provoca respuesta en el crecimiento; aumenta ostensiblemente la Clor./C y pone de manifiesto la presencia de poblaciones de fitoplancton en desarrollo con una tasa de división muy próxima a la máxima (BANSE, 1974; GOLDMAN *et al.*, 1979). Con todo, las distribuciones aún se asemejan a las del mes de diciembre, si bien son más laxas.

En febrero se produce una situación muy parecida a la del mes de enero, pero con una adaptación a regímenes de luz superiores, que hacen disminuir las relaciones Clor./C.

ZONA INTERNA

Lo más aparente de las dos relaciones, en esta zona interna (fig 4) para los dos primeros días de muestreo, son los valores más bajos en la orilla sur, acompañando la entrada de clorofila. Dentro de este esquema general, un segundo motivo a resaltar es la franja norte-sur, perpendicular a la dirección de la corriente principal, de mínimos secundarios. Esta franja se corresponde con el lugar en donde se produce la separación en bolsas de las entradas de agua dulce en la ría (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), que, a su vez, se localiza en la elevación batimétrica. Dicho ascenso y mezcla del agua de fondo da lugar a unas relaciones más altas de Clor./C, propias de poblaciones sometidas a un régimen de luz más bajo y con una menor contaminación. Aunque en menor grado, también se dan relaciones C/N menores, al disminuir la influencia terrestre.

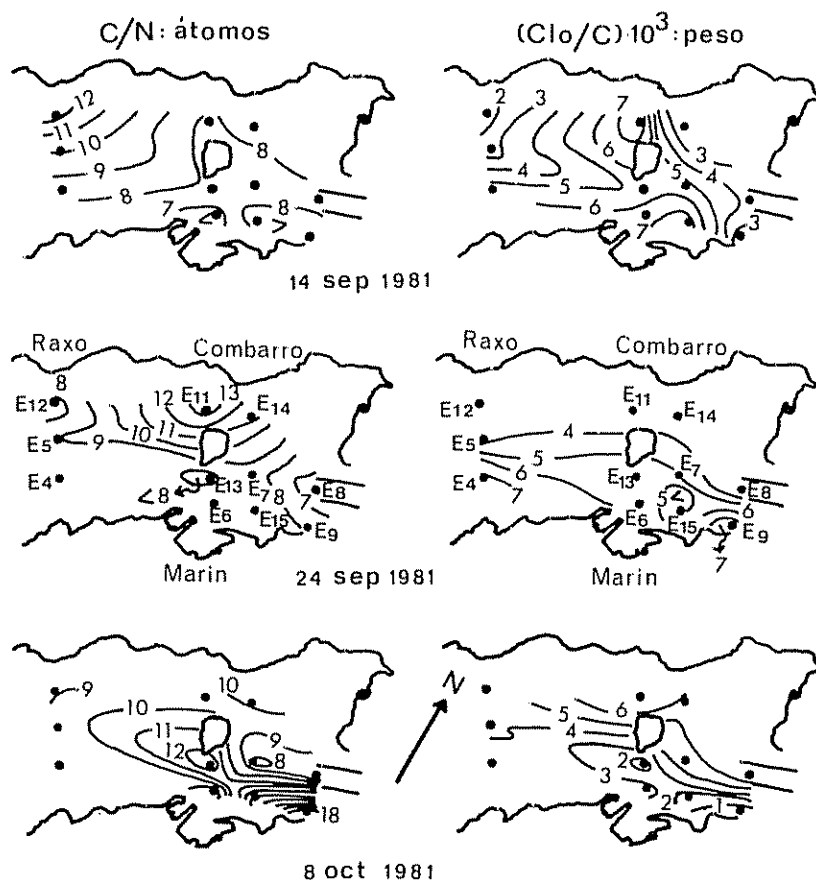


FIG 4. — Distribuciones en superficie de las relaciones C/N y Clor /C en la zona interna de la ría

La relación C/N dentro de la zona de mínimos de la orilla meridional, presenta dos núcleos de valores próximos a los de Redfield que, el día 14, se corresponden con los aportes de nutrientes de la ciudad de Marín y, el día 24, cuando la influencia de la fábrica era mínima, con el centro de la bolsa, donde la estabilidad y los nutrientes permitieron un crecimiento (FIGUEIRAS *et al.*, 1986).

El día 8 de octubre esta situación no es tan manifiesta debido al mayor caudal del río Lérez, que hace que la influencia fluvial se extienda más allá, hacia el océano, y a la obvia importancia de la fábrica, si bien el mínimo de la relación C/N en la estación 7 es especialmente demostrativo de su presencia.

DISCUSIÓN

Las relaciones C/N y Clor /C del fitoplancton son especialmente importantes en la determinación de las tasas de crecimiento de las algas (GOLDMAN *et al.*, 1979), aparte de dar información sobre la calidad del alimento que sustenta al siguiente eslabón de la red trófica. BANSE (1974, 1977) ya señaló los errores que se cometen al comparar entre sí datos aislados, puesto que pueden pertenecer a poblaciones con distintas tasas de crecimiento; por ello recomendó la comparación de las pendientes de grupos de datos correlacionados, con lo que se elimina la variabilidad inherente a la técnica analítica y se puede determinar, a través de la ordenada en el origen, el material detrítico no asociado al material sintetizado recientemente. No obstante, también señaló las dificultades que tiene este cálculo debido a la variación independiente de dicho material con la del fitoplancton.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, se hicieron los cálculos oportunos para cada mes por separado (cuadro I) y, a pesar de ello, la ordenada en el origen resultó negativa en varias ocasiones. Esto es consecuencia de la mezcla de, al menos, tres grupos de valores en la ría, de los cuales dos son imposibles de separar, *a priori*, por la falta de un número suficiente de puntos dentro de los grupos respectivos que los puedan tipificar, en tanto que el grupo perteneciente al vertido de la fábrica es fácilmente discernible y así queda expuesto en la figura 1. Este vertido sedimenta, en su mayor parte, rápidamente, como se puede apreciar en la misma figura. NIELL (1980) describe dos máximos de aporte de materia orgánica cerca del vertido industrial y, en este trabajo, ponemos de manifiesto la sedimentación de dicho material en la zona interna de la ría. Los otros dos grupos interaccionan entre sí de forma que, cuando los que presentan una relación alta tienen mayor peso, el sistema balancea para dar pendientes elevadas y ordenadas negativas, y viceversa. En ningún caso, quiere ello decir que las rectas que tienen ordenadas positivas pueden tomarse como válidas, puesto que, o bien las relaciones del fitoplancton vivo se aproximan a las otras (como ocurre en verano, cuando el fitoplancton tiene una relación C/N alta) o, por el contrario, la fracción con cocientes C/N bajos es muy pequeña (como sucede en septiembre de 1980 y en enero y febrero de 1981). En resumen, esto significa que, si el material no vivo es más importante, el modelo da ordenadas negativas; por el contrario, si el material vivo forma la fracción mayor, la

ordenada será positiva. No obstante, esta última circunstancia puede venir enmascarada por un aumento en la pendiente de este material o por una homogeneización física del medio. Toda esta situación se ve aun más afectada por el hecho de que la recta que representa al fitoplancton no es única, ya que, en momentos entre afloramientos, las poblaciones de superficie tienen una relación muy diferente a la de las poblaciones subsuperficiales. A título de ejemplo baste señalar que la recta de abril (muestreo largo) corresponde a la ecuación del cuadro I al separar del ajuste tan sólo dos muestras superficiales externas, en tanto que, si se incluyen, la recta es prácticamente igual a la de marzo de 1980.

Como último comentario sobre este aspecto cabe indicar que el error de un Y estimado a partir de un X ($S_{x,y}$; cuadro I) da idea de la magnitud de mezcla de los dos grupos de datos, aunque también refleja la mayor dispersión de las relaciones C/N más elevadas. Todos estos inconvenientes, achacados para esta aproximación al estudio de la relación C/N en la ría, son fácilmente extrapolables a la relación Clor./C y, si cabe, todavía mayores, ya que el rango de variación de esta última es más amplio (fig. 1).

Los efectos de las intrusiones de A.C.N.A., que aportan nutrientes y crean un medio físico, en las rías, apto para el desarrollo de una proliferación de diatomeas, son más que obvios, pero no es menos importante la regeneración superficial de nutrientes en verano y principios de otoño, como se deduce de las relaciones C/N de los meses de julio y agosto, sin que lleguen a ser las propias de una situación limitada por carencia total de nutrientes (BANSE, 1974). Los nutrientes regenerados son reintroducidos por el fondo y exportados de nuevo a la costa, por la superficie, en forma particulada. En estas épocas de verano y principios de otoño, de flujos lentos (FIGUEIRAS *et al.*, 1985), el acoplamiento entre producción y consumo por parte de los herbívoros debe de ser la causa que permita el mantenimiento en el sistema de una cantidad nada despreciable de fitoplancton, con concentraciones indetectables de nitratos (FIGUEIRAS *et al.*, 1986).

La penetración de ondas de la picnoclina costera en el interior de la ría, que se destruyen cuando encuentran en su camino una profundidad inferior a su amplitud, parece ser un modo importante de fertilizar la ría cuando el afloramiento costero no es lo suficientemente intenso como para situar A.C.N.A. a un nivel inferior a la profundidad de la boca sur. El lugar de ruptura de estas ondas se sitúa en la zona media de la ría, en las inmediaciones de E4, donde la batimetría pasa bruscamente a profundidades menores. Es éste el mismo lugar en que se localiza el giro ciclónico (FIGUEIRAS *et al.*, 1985).

Comparando los valores de las dos relaciones con los valores absolutos durante la «purga» (FIGUEIRAS y NIELL, 1986) se puede intuir la gran capacidad de estos organismos que se comportan de esta manera para acomodar su actividad metabólica a las condiciones ambientales, procediendo a una síntesis temprana de pigmentos cuando, todavía, la asimilación fotosintética de carbono no ha llegado a su punto álgido. A medida que ésta ocurre, junto con la incorporación a la materia particulada de parte del nitrógeno mineral almacenado en profundidad (DORTCH y MASQUE, 1982), el carbono celular aumenta haciéndose máximo al final del día. La mayor

parte del carbono fotoasimilado se debe de incorporar como material de reserva (carbohidratos), proporcionando la energía necesaria para sustentar el metabolismo, incluso el de formación de proteínas, cuando las condiciones para la fotosíntesis no son adecuadas. La síntesis proteica nocturna no está en discrepancia con las relaciones observadas en el fondo de las estaciones externas. Por otra parte, una mayor proporción de carbohidratos en dinoflagelados, aunque el organismo dominante, en este caso, no lo sea (*Olithodiscus luteus* Carter), ya fue documentada por SMETACEK y HENDRIKSON (1974), y, posteriormente, BARLOW (1980, 1982a, 1982b, 1982c, 1984a, 1984b), aportó más información sobre el tema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los Profesores R. Margalef y F. Fraga, las orientaciones y ayudas recibidas, así como la lectura crítica del manuscrito. AL Dr. G. Pérez-Gándaras la ayuda prestada en los trabajos con el ordenador.

BIBLIOGRAFÍA

- BANSE, K. — 1974 On the interpretation of data for the carbon-to-nitrogen ratio of phytoplankton *Limnol Oceanogr*, 19 (4): 695-699
- 1977 Determining the carbon-to-chlorophyll ratio of natural phytoplankton *Mar. Biol.*, 41: 199-212.
- BARLOW, G. R. — 1980 The biochemical composition of phytoplankton in an upwelling region off South Africa *J Exp Mar Biol Ecol*, 45: 83-93
- 1882a. Phytoplankton ecology in the southern Benguela current I Biochemical composition *Ibidem*, 43: 290-227.
- 1982b Phytoplankton ecology in the southern Benguela current II Carbon assimilation patterns. *Ibidem*, 63: 229-237
- 1982c Phytoplankton ecology in the southern Benguela current III Dynamics of a bloom *Ibidem*, 63: 239-248
- 1984a Physiological responses of phytoplankton to turbulent and stable environments in an upwelling region *J Plank Res.* 6(3): 385-397.
- 1984b Time-series uptake of carbon into photosynthetic products of Benguela phytoplankton populations *Ibidem*, 6(3): 435-442
- COPIN-MONTEGUT, C. y G. COPIN-MONTEGUT. — 1983 Stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus cycles in marine particulate matter. *Deep-Sea Res.* 30(1): 31-46
- DESERTOVA, B. — 1981 Relationship between chlorophyll *a* concentration and phytoplankton blooms in several reservoirs in Czechoslovakia *Int Revue Ges Hydrobiol.* 66(2): 153-169
- DORTCH, Q. y H. MASOUE. — 1982 Dark uptake of nitrate and nitrate reductase activity of a red tide population off Peru. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9: 299-303
- EPPLEY R. W., W. G. HARRISON, S. W. CHISHOLM y E. STEWART — 1977. Particulate organic matter in surface waters off Southern California and its relationship to phytoplankton *J Mar. Res.* 35(4): 671-696.
- FALKOWSKI, G. P. — 1983. Light shade adaptation and vertical mixing of marine phytoplankton: A comparative field study *Ibidem*, 41: 215-237
- FIGUEIRAS, F. G. — 1985 *Ecología del fitoplancton de la ría de Pontevedra*. Tesis doctoral Univ. de Barcelona 321 págs
- FIGUEIRAS, F. G., F. X. NIELL y M. ZAPATA. — 1985 Hidrografía de la ría de Pontevedra (NO de España) con mención especial al banco de Placeres. *Inv. Pesq.* 49(3): 451-472
- FIGUEIRAS, F. G., F. X. NIELL y C. MOURINO. — 1986 Nutrientes y oxígeno en la ría de Pontevedra, NO de España *Ibidem*, 50(1): 97-115
- FIGUEIRAS, F. G. y F. X. NIELL. — 1986 Visibilidad del disco de Secchi, clorofila *a* y materia orgánica particulada en la ría de Pontevedra (NO de España) *Ibidem*, 50(4): 607-637
- FRAGA, F. — 1976. Distribución de carbono orgánico particulado en la región de afloramiento del NW de África y su relación con el nitrógeno particulado I. Marzo 1973. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide de Saavedra*, 5: 19-30
- GOLDMAN, C. J., J. J. MACARTHY y D. G. PEAVY. — 1979 Growth-rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters *Nature*, 279(5710): 210-215.
- HARRISON, W. G. y I. PLATT. — 1980 Variations in assimilation number of coastal marine phytoplankton effects of environmental co-variables *J Plank Res.* 2(4): 249-260
- ISEKI, K., R. W. MACDOBALD, CH. SH. WONG. — 1984 Effect of wood waste dumping on organic matter in seawater and superficial sediments of Alberni Inlet British Columbia *J Oceanogr. Soc. Japan*, 40: 213-320
- LANCELOT, CH. — 1980 A statistical method to estimate the biochemical composition of phytoplankton in the Southern Bight of the North Sea *Est. Coast Shelf Sci.*, 10: 467-478
- MARGALEF, R. — 1956. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. En *Perspectives in Marine biology*. Ed. A. A. Buzzati-Traverso, págs 323-349
- MARGALEF, R., M. DURÁN y F. SAIZ. — 1985 El fitoplancton de la ría de Vigo de enero de 1953 a marzo de 1954 *Inv. Pesq.* 2: 85-129
- NIELL, F. X. — 1980 Incidencias de vertidos industriales en la estructura de las poblaciones intermareales. Algunas variables de los sistemas sedimentarios en el espacio *Ibidem*, 44(2): 337-345.
- SMETACEK, V. y P. HENDRIKSON. — 1979 Composition of particulate organic matter in Kiel Bight in relation to phytoplankton succession *Oceanol. Acta*, 2(3): 287-298.