

# Comentarios sobre el uso del índice C:N en el estudio de algas bentónicas

C. MOURIÑO  
A. FERNÁNDEZ

Instituto de Investigaciones Pesqueras. Muelle de Bouzas. Vigo

F. X. NIELL

Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga

## INTRODUCCIÓN

El propósito general que tenemos al redactar este trabajo es realizar una labor crítica sobre el uso del índice C:N en el estudio de comunidades bentónicas y, más específicamente, en el estudio de la biología de los macrófitos.

Los datos que se comparan con un conjunto de muestras procedentes de algas de Mallorca proceden de algas de la ría de Vigo y fueron publicados en dos trabajos previos (NIELL, 1976 y NIELL & MOURIÑO, 1981); en este último trabajo se hacían algunas consideraciones sobre la disposición conceptual necesaria al analizar datos de composición elemental en muestras tomadas en condiciones muy distintas.

Como datos inéditos se presentan 35 análisis nuevos obtenidos en el Mediterráneo, con algas procedentes de Mallorca (tabla I).

## MATERIAL Y MÉTODOS

El procedimiento de preparación de muestras es el mismo que se descri-

bió en un trabajo anterior (NIELL, 1976) y se ha usado en otro terminado recientemente (NIELL & MOURIÑO, 1981).

En este trabajo se presentan los resultados de análisis de C y N en algas procedentes de dos localidades de la isla de Mallorca, una sita en la costa de la sierra de Tramontana (Estellencs) y la otra en la costa sudoeste de la isla (Cala Sa Nau). Todas las muestras mediterráneas se obtuvieron en el mes de julio, cuando en las aguas de superficie no se detectan nitratos (dato obtenido en las campañas regulares del laboratorio de Baleares del Instituto Español de Oceanografía).

## RESULTADOS

Los valores de C y N y el índice C:N de las especies analizadas procedentes del Mediterráneo están en la tabla I.

a) Relación entre C y N.- No existe ninguna relación significativa entre las concentraciones de C y N. En un primer trabajo, NIELL (1976) encontró una ecuación que relacionaba ambas varia-

Tabla I - Contenido en C y N (%) y relación C/N (expresada en átomos) en algas del Mediterráneo (isla de Mallorca). \* Desviación típica. E, Estellés; SN, Sa Nau.

Especie	Localidad	Parte del			C:N	Observaciones
		talo	N(%)	C(%)		
<u>Rissoella verruculosa</u>	E	Total	1,14	20,17	20,63	Nivel alto. Rompiente
"	"	"	2,83	29,43	12,13	Nivel bajo
<u>Nemalion helminthoides</u>	"	"	1,03	21,88	24,77	Nivel alto, por encima de <u>R. verruculosa</u> . Rompiente.
<u>Scinaia forcellata</u>	SN	"	2,29	19,42	9,89	1 m de profundidad
<u>Gelidium latifolium</u> ( <u>attenuatum</u> )	E	"	2,78	33,64	14,11	5 m de profundidad
<u>Chrysimenia uvaria</u> (cf.)	"	"	1,80	18,15	11,76	1 m de profundidad
<u>Falkenbergia rufolanosa</u>	"	"	1,32	19,71	17,41	1 m de profundidad
<u>Laurencia caespitosa</u>	"	"	1,49	22,81	17,85	Rompiente.
<u>Laurencia obtusa</u>	SN	"	1,69	19,76	13,80	2 m de profundidad.
<u>Peyssonnelia atropurpurea</u>	"	"	4,48	28,95	7,54	Sin epífitos, 2 m
"	"	"	4,91	20,09	6,91	Con epífitos, 2 m
<u>Corallina mediterranea</u>	"	"	0,51	14,06	32,15	Rompiente
<u>Amphiroa rigida</u>	SN	"	0,52	15,36	34,45	1 m de profundidad
TOTAL Florídeas			1,92	22,46	(16,55)	
			(1,43)*	(5,72)	(8,74)	
<u>Cladostephus spongiosus</u>	E	"	1,29	25,19	22,77	1 m de profundidad
<u>Halopteris scoparia</u>	"	"	1,27	22,26	20,44	1 m de profundidad
<u>Dilophus fasciola</u>	"	Parte grue- sa basal	1,33	22,69	20,05	1 m de profundidad
"	"	Parte media	1,66	26,52	18,63	"
"	"	Ápices	1,55	28,78	21,63	"
<u>Dictyopteris membranacea</u>	"	Total	1,69	27,80	19,48	2 m de profundidad
<u>Padina pavonica</u>	"	"	0,46	19,29	48,90	0,50 m de profundidad
"	"	Base	0,49	16,54	39,36	"
"	"	Meristemo	0,74	17,93	27,88	"
<u>Colpomenia peregrina</u>	"	Total	0,56	13,53	28,17	Rompiente
<u>Cystoseira mediterranea</u>	"	Base	1,30	31,75	28,48	"
"	"	Rámulas	1,40	34,07	28,38	"
TOTAL Feofíceas			1,15	23,86	26,99	
			(0,46)	(6,29)	(9,08)	
<u>Caulerpa prolifera</u>	SN	Total	2,12	31,32	17,29	5 m de profundidad
"	"	Rizoide	2,11	28,91	15,98	"
"	"	Filoide	2,59	33,46	15,07	"
<u>Halimeda tuna</u>	"	Total	2,26	21,72	11,21	2 m de profundidad
<u>Acetabularia mediterranea</u>	E	"	0,24	23,44	113,89	1 m de profundidad
<u>Codium dichotomum</u>	SN	"	2,64	21,72	11,21	2 m de profundidad
TOTAL Clorofíceas			1,99	26,28	30,29	
			(0,89)	(5,80)	(41,09)	

Especie	Localidad	Parte del			C:N	Observaciones
		talo	N(%)	C(%)		
<u>Posidonia oceanica</u>	SN	Base	0,62	34,37	64,65	3 m de profundidad
"	"	Hoja a 5 cm de la base	1,71	35,89	24,48	"
"	"	Hoja a 10cm de la base	1,84	36,44	23,09	"
"	"	Hoja a 15cm de la base	1,85	37,28	23,50	"

bles; el hecho se demostró que era casual (NIELL & MOURIÑO, 1981) y tanto en las algas de la Ría de Vigo, estudiadas en diferentes épocas del año, como en las muestras procedentes del Mediterráneo, no existe relación significativa de ningún tipo.

b) Separación de los grupos taxonómicos por el índice C:N. - Las feofíceas especialmente, y las laminariales además, presentan valores más altos de la relación C:N que otros grupos de algas (NIELL & MOURIÑO, 1981); en algas de Mallorca, donde estos dos grupos no son tan importantes como en Vigo, no hay base para separar los distintos grupos de algas. Pero las rodofíceas se caracterizan por poseer las concentraciones más altas de nitrógeno en el talo, lo que repercute en que los índices C:N sean más bajos en este grupo que en los demás. Este resultado es distinto al que se obtiene en Vigo, donde las feofíceas (excluidas laminariales y fucáceas) y clorofíceas presentan valores de C:N semejantes e incluso inferiores a los que presentan las rodofíceas.

Especial mención merecen los resultados en el espermatófito Posidonia

oceanica, del que se han tomado tejidos para el análisis a cuatro niveles de los haces foliares; los tres resultados obtenidos en el tejido foliar son semejantes y del mismo orden que los que se han obtenido en otras especies.

c) Distinción entre niveles de marea.- La estructura del intermareal mediterráneo, o en su lugar la de un espacio emergido de modo más o menos regular, no es comparable con la del mismo sistema en el Atlántico. Únicamente hemos tomado algunas muestras de la especie Rissoella verruculosa, presente en Mallorca en la costa norte (NIELL, 1974), para comparar los valores del índice C:N en individuos sometidos a un stress de emersión distinto. La especie citada se muestreó en la zona alta y en la baja de su horizonte\*, y las diferencias son claras en contenido de nitrógeno y carbono, siendo más altos en las plantas del nivel bajo; estos

\* Los autores no tienen inconveniente en matizar la posición de este horizonte siguiendo la nomenclatura francesa: horizon inférieur de l'étage mésolittoral.

resultados apoyan en cierto modo la existencia de un mecanismo fisiológico de almacenamiento de polisacáridos sin sentido adaptativo a la emersión en individuos de la misma especie; asimismo, el contenido en nitrógeno es mayor en las plantas de los niveles bajos que están más tiempo en contacto con la fuente de nitrógeno: el agua.

Nemalion helminthoides crece en el mismo nivel que Rissoella verruculosa, aunque puede sobrepasar el horizonte de ésta por arriba y por abajo (FELDMANN, 1937); los ejemplares tomados para este estudio eran de niveles muy altos, los únicos que sobrevivían en el momento del muestreo. Los valores obtenidos siguen la tendencia de los individuos de Rissoella verruculosa.

d) Comparación entre partes del talo.- Las zonas metabólicamente activas presentan índices C:N menores que las inactivas (NIELL, 1976). Algunas plantas de las estudiadas, como Caulerpa prolifera, Dilophus fasciola y Padina pavonica cumplen claramente este principio y confirman la teoría. Otras plantas no estudiadas anteriormente en este aspecto, como el espermatófito Posidonia oceanica, siguen groseramente esta regla; así, en la base de los fascículos foliares, el valor de C:N es mayor que en las partes foliares, pero las muestras cogidas a distinta altura de la hoja dan valores muy parecidos, el gradiente es irregular y los porcentajes de carbono y nitrógeno muestran una clara tendencia creciente de la base al ápice. La misma tendencia presenta la variación de nitrógeno, aunque en la base la concentración de este elemento es prácticamente un tercio de la que se encontró en las

hojas, diferencia que no es tan acusada en los porcentajes de carbono.

Cystoseira mediterranea es otra especie característica de las costas del Mediterráneo occidental; en ella los valores del índice C:N muestran diferencias, aunque no muy considerables, entre las partes terminales y la base, hecho que se puede explicar porque las rúmulas terminales en individuos adultos no presentan ya actividad meristemática, según se puede deducir de los datos de BOUDOURESQUE (1969).

e) Comparación entre plantas de la misma especie en Vigo y Mallorca. La comparación de los valores de C y N y el índice que los relaciona, se hace usando los datos de Vigo en épocas de clara depleción de los nitratos del agua de la ría (FRAGA & MOURIÑO, 1978) y en verano.

Las diferencias más claras están en el contenido de nitrógeno, siendo muy llamativos, por lo altos, los valores en algas del Mediterráneo. Pocas son las especies comunes en uno y otro mar.

Entre las clorofíceas, Codium dichotomum presenta contenidos en nitrógeno más altos en Cala Sa Nau que en Vigo (tanto en abril como en agosto); esta especie debe de compararse también con Codium fragile, estudiado por HANISAK (1979) en las costas americanas, que presenta concentraciones de nitrógeno bajas en verano; normalmente algo por debajo o próximos al 2 %, estos valores no son nunca tan altos como los encontrados en individuos de Mallorca. De modo concomitante, el índice C:N es muchísimo más bajo en los talos de Mallorca que en los de Vigo y de las costas

nororientales de los EEUU.

Los valores más parecidos de C:N que se encuentran en ejemplares de Vigo y América se dan precisamente en marzo, abril y noviembre, cuando las disponibilidades de nitrógeno en el agua son altas (FRAGA & MOURIÑO, 1978; HANISAK, 1979), coincidiendo con valores de concentración de nitrógeno en los tejidos del mismo orden que los que se encuentran en algas mediterráneas.

Entre las feofíceas que se han estudiado en las dos localidades, Dyctiopteris membranacea da contenidos más altos en nitrógeno en Vigo que en Estellencs; la relación de los valores de C:N es contraria. En Cladostephus spongiosus se sigue la misma tendencia, que se repite con Halopteris scoparia. Padina pavonica es una especie que da más nitrógeno en Vigo, donde se comporta como efemerofícea en verano, época que no se puede comparar en condiciones con las existentes en el Mediterráneo.

Cystoseira mediterranea y Cystoseira tamariscifolia son especies vicarias. La especie de Mallorca presenta valores más altos de nitrógeno que la del Atlántico, en consecuencia el índice C:N es menor a pesar de que la diferencia está suavizada por una concentración mayor de carbono en la especie mediterránea.

Las rodofíceas que comparamos son varias: Nemalion helminthoides, que aparece en Vigo en verano, presenta una proporción más alta de nitrógeno con respecto a la concentración de carbono, en comparación con los datos obtenidos en Mallorca.

Gelidium latifolium presenta valores parecidos de nitrógeno y de C:N en Vigo, donde es muy abundante en el sis-

tema intermareal, y en ejemplares de Estellencs recogidos a 5 m de profundidad.

## CONCLUSIONES

En general, las especies analizadas en Mallorca se encuentran al final de su época de crecimiento; en Vigo, sin embargo, la fluctuación irregular de fuentes de nitrógeno lleva a las algas a crecer en varias épocas.

La relación de resultados que se presentan en este trabajo es absolutamente desconcertante. El uso del índice C:N se ha hecho general en trabajos planctónicos donde su significado, desde los trabajos clásicos de PARSONS & STRICKLAND (1962), PROVASOLI (1963), MENZEL & RYTHER (1964) es claro. Pero en los sistemas bentónicos no hay una base conceptual clara para interpretar las grandes variaciones que se encuentran; algunos autores, sin embargo, han intentado aclarar el significado del índice C:N en los tejidos de macrófitos: MANN (1972) lo utilizó en Laminaria digitata y en Laminaria longicuris como dato de conversión, y como tomó valores globales, atribuyó toda la variabilidad a cuestiones fenológicas. Uno de nosotros (NIELL, 1976) realizó una primera prospección del posible significado del índice C:N en macrófitos con un reducido número de muestras tomadas en enero en aguas ricas en nitrato; tres conclusiones fundamentales se extrajeron del mencionado trabajo, que han llevado a organizar en apartados de comprobación el capítulo de resultados: la primera, que el porcentaje de nitrógeno en los tejidos activos era mayor que en los no ac-

tivos, consecuentemente el índice C:N era menor y por tanto las partes perennes poseerían un C:N mayor que las anuales. La segunda, que las Fucáceas tenían, con las Laminariales, un C:N mayor que los demás grupos. La tercera negaba un posible sentido adaptativo a la emersión reflejado en valores altos del índice C:N como consecuencia de un posible engrosamiento de las paredes por hidratos de carbono.

Para confirmar estas hipótesis, se desarrolló una nueva serie de cuatrocientos análisis que cubrían muestras de diferentes partes del talo de 50 especies de macrofitos intermareales recogidos en los distintos niveles en siete épocas del año, con diferente disponibilidad de nitratos en el medio (NIELL & MOURIÑO, 1981).

En conjunto, hay un cierto confu-sionismo, que las muestras del Medite-ráneo acentúan; las fuentes de confu-sión las han reflejado distintos autores pero de modo parcial. En resumen, los principales problemas se dan por dos razones: una está directamente relacio-nada con la relativa escasez que, en general, y en las costas mediterráneas en particular, tienen los estudios cuan-titativos, tanto de índole fisiológica, como ecológica, por lo que la biología de muchas especies es un auténtico enigma.

El otro motivo, y a nuestro juicio, el principal, es que a pesar del uso extensivo que se hace de los autoanali-zadores la base conceptual para inter-pretar los resultados es débil y los datos se obtienen en serie sin un cono-cimiento correcto de las repercusiones que el uso del nitrógeno (LAPOINTE &

RYTHER, 1979) y del carbono (NIELL & MOURIÑO, 1981) tienen sobre el valor del índice C:N.

Un proceder incorrecto y generaliza-do es el uso de los datos de C y N como factores de conversión, con el gra-ve inconveniente de que en diferentes tejidos de una misma planta la concen-tración de N y C varía mucho de unas partes a otras del talo, como demostra-mos en la tabla I y en otros trabajos anteriores ya mencionados; el proceder no es taxativamente incorrecto, pero puede inducir a error por este motivo. Los macrofitos usan el nitrógeno en forma de nitrato o amonio (JACKSON, 1977), exceptuando las cianofíceas que usan el nitrógeno molecular. Parece, pues, que el contenido en nitrógeno de los tejidos debe de reflejar la dis-ponibilidad de este elemento en el me-dio; así lo afirma HANISAK (1979) que estudia la asimilación de nitrato por *Codium fragile* y encuentra que el creci-miento es máximo y asintótico cuando el porcentaje de nitrógeno en el talo es 1,9; naturalmente, éste es un valor específico, pero estos guarismos son menores que la mayor parte de los obte-nidos en algas mediterráneas; de donde se deduciría, al menos razonando lineal-mente, que las algas recogidas en Ma-llorca estarían en fase de producción, hecho del que no hay evidencia. El nitrógeno excedente se almacena en forma de nitrato, como CHAPMAN & CRAIGIE (1977) y el mismo HANISAK (1979) demuestran, y hay producción incluso después de la época de abundancia de nutrientes (NIELL & MOURIÑO, 1981); esta producción de tejido se refleja en una disminución del índice C:N (NIELL,

1976), por lo que sería de esperar, como se afirmaba en el párrafo anterior, una producción alta en los meses siguientes al de muestreo, en que las concentraciones de nitrógeno son altas en el talo, hecho que no se da.

El significado del término producción es, en el caso de los macrófitos, diverso, y es importante distinguir entre producción celular, con necesaria aportación de nitrógeno, y producción de polisacáridos, que se da sin nitrógeno, como demostraron DE BOER *et al.* (1976) *in* JACKSON (1977) y NEISH & SHALOCK (1971), existiendo, a pesar de ello, incremento de biomasa. En el primer caso, el contenido de nitrógeno influye en el C:N como hemos indicado, pero en el segundo el nitrógeno total se mantiene constante, no hay formación de nuevas células, pero los carbohidratos aumentan continuamente; en este caso, como señaló JACKSON (1977), las variaciones dependerían primordialmente de los cambios de carbono, contrariamente a lo que se asume de modo general: se relacionan los cambios del valor C:N con la variación de nitrógeno. El error es más de expresión que de concepto, una vez aceptado el razonamiento de JACKSON (1977), y parece que el método de expresión porcentual de N y C no es el más adecuado, porque cuando el contenido en carbono es alto, lógicamente el porcentaje de N desciende artificialmente en los análisis. El control de las variaciones de N y C debería de llevarse a cabo con expresiones absolutas

(no porcentuales) y con referencia a unidades discretas.

Las algas mediterráneas que hemos estudiado presentan desviaciones importantes con respecto a lo que se había obtenido en el Atlántico (NIELL, 1976; NIELL & MOURIÑO, 1981) y reavivan una hipótesis recientemente descartada (NIELL & MOURIÑO, 1981), que es la que atribuye a las algas la capacidad de tomar nitrógeno del medio, incluso cuando éste elemento no es detectable por medio de los análisis convencionales. Esta explicación, que dan MUNK & RILEY (1952) y NEUSHUL (1972), no contribuiría a producir grandes variaciones en el C:N cuando el reciclado de los nutrientes fuese rápido, pero si este fenómeno es lento, o sea que prácticamente no existe o no afecta a algas de 3 o 4 meses de vida, el desarrollo de esta estrategia aseguraría la producción celular en algas de mares pobres, con crecimiento lento que se termina en poco tiempo. Si esto no es así, los valores de nitrógeno del talo en algas mediterráneas no se explican, teniendo en cuenta que están en un sistema sin nitratos.

#### AGRADECIMIENTOS

D. Miguel Durán Ordiñana prestó el laboratorio del Instituto Español de Oceanografía de Baleares para la preparación de las muestras, A. Gené cooperó en la recogida de material y A. Ayala en la confección del trabajo.

## SUMMARY

## COMMENTS ON THE USE OF THE C:N RATIO IN THE STUDY OF BENTHIC ALGAE

A pool of 35 samples of algal tissues, collected in Majorca during July, have been analyzed to obtain N and C concentrations and to calculate C:N ratio. A surprisingly high content of N was found in all the specimens living in an environment strongly depleted

of nitrate; this results, compared with other published in previous works, open a critical discussion on the current meaning of C and N content in macrophytes, their signification, and the most frequent sources of error in the assumptions made in theoretical discussions.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOUDOURESQUE, Ch. F., 1969. Etude qualitative et quantitative d'un peuplement algal à Cystoseira mediterranea dans la region de Banyuls-sur-mer (P.O.). Vie Milieu, XX(2-B):437-452.
- FELDMANN, J., 1937. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La Côte des Albères. Rev. Algol., X:1-339.
- FRAGA, F. & C. MOURIÑO, 1978. Datos hidrográficos de la ría de Vigo (1975-1976). Datos hidrográficos de la Ría de Vigo (1976-1977). Datos informativos del Inst. Invest. Pesq. C.S.I.C., 78 pp.
- HANISAK, M.D., 1979. Nitrogen limitation of Codium fragile ssp. tomentosoides as determined by tissue analysis. Mar. Biol., 50:333-337.
- JACKSON, G.A., 1977. Marine biomass production through seaweed aquaculture. In: SAN PIETRO, ed. Biochemical and photosynthetic aspects of energy production. Academic Press.
- LAPOINTE, B.E. & RYTHER, J.H., 1979. The effects of nitrogen and seawater flow rate on the growth and biochemical composition of Gracilaria foliifera var. angustissima in mass outdoor cultures. (Manuscript Contribution 4044 Woods Hole Oceanographic Institution).
- MANN, K.H., 1971. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. I. Zonation and biomass of seaweeds. Marine Biology, 12(1): 1-10.
- MENZEL, D.W. & RYTHER, J.H., 1964. The composition of particulate organic matter in the Western North Atlantic. Limnol. Oceanogr., 9:179-186.
- MUNK, W.H. & RILEY, G.A., 1952. Absorption of nutrients by aquatic plants. J. Mar. Res., 11:215-240.
- NEISH, A.C. & SHALOCK, P.F., 1971. Greenhouse experiments on the propagation of strain T4 of Ingh moss. 25 pp. Halifax: National Res. Council, Canada (Atl. Reg. Tecn. Rep. Ser., nº 14).
- NEUSHUL, M., 1972. Functional interpretation of benthic marine algal morphology. In: Contributions to the systematics of benthic marine algae of the North Pacific, 47-74 ed. by I.A. ABBOTT & M. KUROI, Kobe, Japan. Japanese Soc. of Phycology.
- NIELL, F.X., 1974. La présence sur substratum calcaire de Rissoella verruculosa (Bertol.) C. Ag. à l'île de Majorque. C.I.E.S.M. 1974.
- NIELL, F.X., 1976. C:N ratio in some marine macrophytes and its possible ecological significance. Bot. Mar., 19:347-350.
- NIELL, F.X. & MOURIÑO, C., 1981. Contenido en carbono y nitrógeno en macrófitos intermareales. Inv. Pesq., 45(1):187-210.
- PARSONS, T.R. & STRICKLAND, J.D., 1962. Oceanic detritus. Science, 136:313-314.
- PROVASOLI, L., 1963. Organic regulation of phytoplankton fertility. In The Sea. II. (HILL, M.N. edit.): 165-219. London.