

ANÁLISIS FACTORIAL (MODO Q) DE LA NANOFLOREA CALCÁREA DEL MIOCENO SUPERIOR EN EL SONDEO ODP 654 (TIRRENO, MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL)

Guillermo FRANCÉS, José Abel FLORES y Fco. Javier SIERRO

Departamento de Geología (Area de Paleontología).
Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.
37008 Salamanca (España).

ABSTRACT

In this paper a Q-mode Factor Analysis was carried out to study the Upper Tortonian-Lower Messinian calcareous nanoflora from 654 ODP site (Tyrrhenian Sea, Western Mediterranean.) Using the CABFAC computer program, four factors were obtained that explain the 98% of total variance. 54 samples and 12 taxa were considered. Factor 1 would identify a "medium" assemblage, but some taphonomic and paleoecologic features could also be considered. Factor 2 is clearly a taphonomic factor. Factors 3 and 4 describe variations of temperature of superficial water masses. The first is according to a relatively warm assemblage. Factor 4 indicates a minor warm-temperate assemblage. After the Tortonian-Messinian boundary an anomalous interval is observed, which does not coincide with the proposed interpretation. Variations in oceanographic and paleobiogeographic conditions can explain this section. In the Lower Messinian a general decrease in the temperature of superficial water masses was observed.

Keywords: Q-mode Factor analysis, Calcareous nanoplankton, Tortonian, Messinian, Miocene, ODP, site 654, Tyrrhenian Sea, Western Mediterranean.

RESUMEN

En el presente trabajo se propone la utilización de un análisis factorial en modo Q sobre sedimentos del Tortoniano Superior-Mesiniense Inferior del sondeo ODP 654, situado en el Mar Tirreno, aplicado sobre nanoflora calcárea. Mediante el programa CABFAC, se han obtenido 4 factores que explican el 98% de la varianza total de los diferentes táxones en 54 muestras. El Factor 1 ha sido considerado definitorio de la asociación, con algunos matices paleoecológicos y tafonómicos. El Factor 2 puede ser asimilado claramente a procesos tafonómicos. Por su parte, los factores 3 y 4 describen variaciones térmicas. El primero de ellos pone de manifiesto una asociación relativamente cálida, mientras que el Factor 4 evidencia una asociación templado-cálida minoritaria. En el tramo inmediatamente posterior al límite Tortoniano-Mesiniense, se observa una distorsión respecto a las interpretaciones dadas a estos factores, como consecuencia de la probable incidencia de causas de naturaleza oceanográfica y/o paleogeográfica. Pese al claro control tafonómico de la asociación, se ha interpretado una reducción relativa en la temperatura de las masas de agua superficiales hacia el Mesiniense Inferior.

Palabras clave: Análisis factorial en modo Q, Nanoplancton calcáreo, Tortoniano, Mesiniense, Mioceno, ODP, sondeo 654, Mar Tirreno, Mediterráneo occidental.

INTRODUCCIÓN: SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y ANTECEDENTES

El sondeo 654, extraído en la campaña 107 del *Oceanic Drilling Program* (ODP), se sitúa en el mar Tirreno (Mediterráneo occidental; coordenadas 50°37,76'/10°41,80'), en las proximidades de Cerdeña (Figura 1), a una profundidad de 2217 m. Los sedimentos recogidos abarcan un lapso Tortoniano-Plioceno (Kastens *et al.*, 1987).

En el presente trabajo nos centramos en el estudio del Tortoniano Superior-Mesiniense Inferior, incluyendo los estadios previo e inicial de la Crisis de Salinidad Mesiniense. El punto de partida es el esquema y resultados del análisis cuantitativo de baja resolución presentado por Flores *et al.* (1989), sintetizado en la Figura 2 y Tabla 1, por lo cual este

trabajo puede considerarse una ampliación del último mencionado.

Para el lapso en cuestión, Borsetti *et al.* (1990) distinguen las unidades 5, 4 y 3. La Unidad 5 la constituyen arenas glauconíticas bioturbadas, depositadas en un medio de baja batimetría. La Unidad 4 se define como un fango de nanoplancton, depositado en condiciones de alta batimetría. La Unidad 3 se compone de esquistos dolomíticos oscuros, estériles en nanoplancton.

Glaçon *et al.* (1990) y Flores *et al.* (1989), llevan a cabo diferentes análisis bioestratigráficos y paleoecológicos basados en el plancton calcáreo. En lo que respecta al nanoplancton calcáreo, en la última referencia se definen una serie de intervalos de abundancia. El infrayacente, A, coincidiría con la Unidad 5 y la característica fundamental sería la escasez de nanoflora. En la Unidad 4 se han definido tres tra-

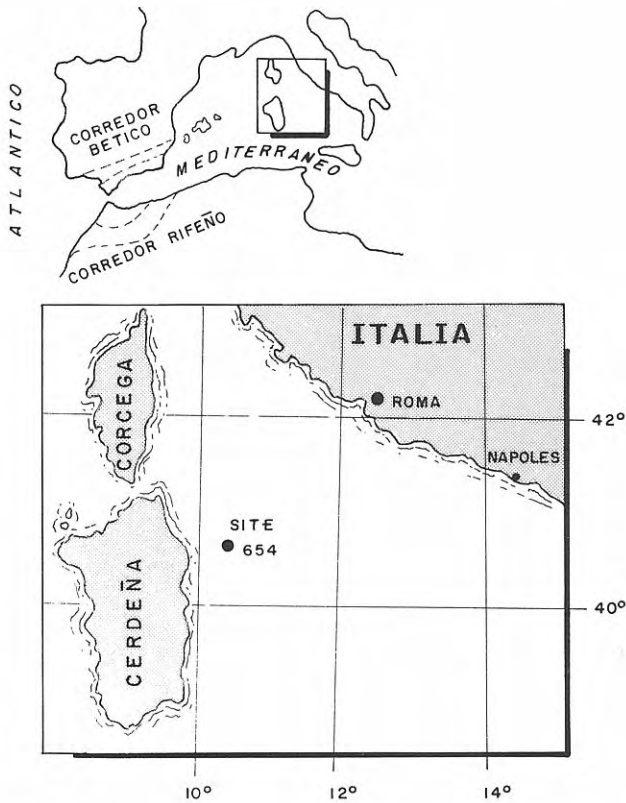


Figura 1. Situación geográfica del sondeo ODP 654.

mos: el B caracterizado por una abundancia moderada y fluctuante como consecuencia de la acción de corrientes de fondo; el C poseería características similares a las de áreas atlánticas adyacentes, mayor abundancia y regularidad en el registro; el D es un tramo caracterizado por fuertes alternancias en la abundancia, interpretado como resultante de fluctuaciones en las masas de agua superficiales (térmicas, por estratificación de las mismas...). El tramo superior es estéril, coincidiendo con la acentuación de la crisis de salinidad. Glaçon *et al.* (1990) muestran un estudio isotópico, interpretando que se produce una reducción progresiva de las temperaturas, a la vez que hacia el techo se registrarían señales alternantes como consecuencia de pulsaciones de ciclos glaciales e interglaciales. Channell *et al.* (1990) realizan un estudio magnetoestratigráfico, que ha posibilitado la aproximación a la edad absoluta de alguno de los eventos considerados.

OBJETIVOS

En el presente trabajo se han planteado los siguientes puntos:

– Viabilidad del empleo de un análisis factorial en modo Q sobre las asociaciones de nanoplancton calcáreo del Mioceno superior del Mediterráneo. Como antecedentes destacables, caben tenerse en consideración los trabajos de Haq y Lohmann (1976) y Malmgrem y Haq (1982).

– Obtener una serie de factores que posibiliten la interpretación de las variaciones en el lapso considerado.

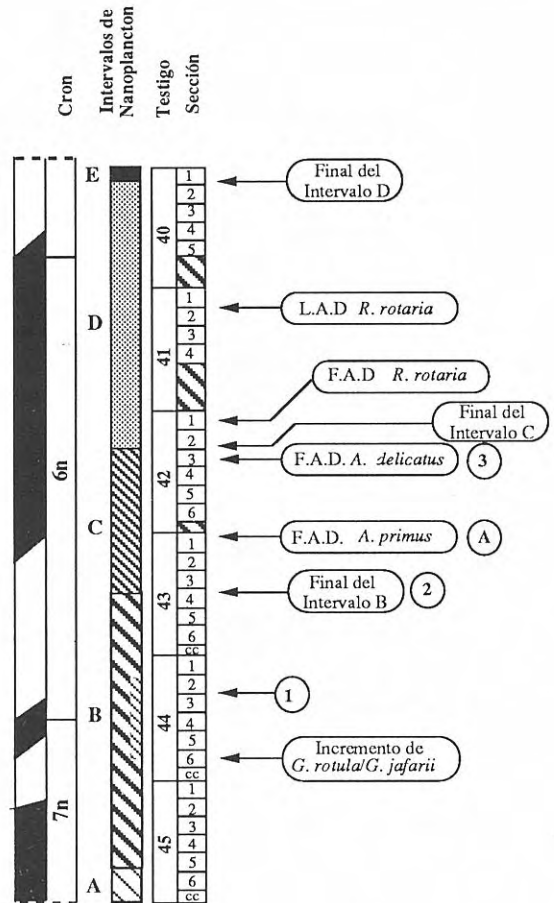


Figura 2. Localización de la señales bioestratigráficas definidas por Flores, Sierro y Glaçon (1989) en el sondeo ODP 654.

– Contraste con los resultados obtenidos por técnicas micropaleontológicas convencionales sobre las mismas muestras, referidas al trabajo de Flores *et al.* (1989).

RECuento DE LOS EJEMPLARES Y TÁXONES CONSIDERADOS

Para obtener la matriz de abundancia porcentual de los táxones que aparecen en la Tabla 1, se llevó a cabo un análisis cuantitativo de baja resolución. De cada una de las muestras estudiadas, se consideraron en torno a los 500 individuos. Con una probabilidad de error de 0,5 %, se registrarían todos aquellos táxones, grupos y/o morfotipos cuya proporción en la muestra se sitúe en torno al 1 % (Dennison y Hay, 1967, y Patterson y Fishbein, 1989). Las observaciones se realizaron con un microscopio petrográfico, con un número de aumentos de 1250.

Los 12 táxones, grupos y/o morfotipos considerados han sido:

- Reticulofenestra pseudoumbilicus* (1),
- Grupo *Reticulofenestra haqii/minutula* (1),
- Grupo de los "placolitos pequeños" (1),
- Dictyococcites antarcticus* (1),
- Coccolithus pelagicus*,

MUESTRA	R.pseud	haq/min	p.Plac.	D.antar	C.pelag	G.rotul	G.jaraf	Helicol	C.macin	C.lepto	Asterol	Esfenol
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	5,70	31,30	13,80	33,30	2,40	2,00	0,00	8,00	0,40	3,60	5,60	0,80
4	3,00	16,10	43,80	20,30	1,80	3,30	3,00	2,10	1,80	0,30	1,20	0,30
5	3,60	8,10	48,40	24,00	2,90	2,40	0,60	2,10	0,30	1,20	0,00	3,00
6	5,00	10,00	52,50	19,70	4,00	1,20	0,40	1,20	0,80	3,60	0,40	0,40
7	14,10	17,10	17,10	27,30	6,40	6,40	0,40	1,70	0,80	0,40	0,00	3,80
8	10,90	15,30	46,70	11,30	6,40	2,80	0,40	3,60	0,00	0,40	0,40	0,80
9	7,30	15,60	35,40	25,70	2,40	3,00	1,20	3,70	0,30	1,50	0,00	0,90
10	2,40	17,10	56,10	12,20	2,40	0,00	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	4,80
11	6,30	22,50	1,60	24,50	3,10	2,40	1,20	3,60	1,20	0,00	1,20	0,60
12	7,30	7,30	60,60	11,60	2,70	1,20	3,60	1,90	0,80	0,80	1,20	0,40
13	36,10	9,80	11,50	4,90	9,80	0,00	0,00	19,70	0,00	0,00	0,00	4,80
14	8,00	17,20	38,20	9,30	8,60	0,80	0,80	7,00	1,60	1,60	3,20	2,40
15	7,90	19,90	46,50	14,10	1,20	0,80	1,20	2,00	0,00	2,00	1,20	0,80
16	7,50	22,60	38,70	17,10	3,50	2,00	0,00	3,50	1,00	1,00	0,50	0,50
17	2,10	31,00	36,50	7,00	1,40	1,40	2,10	6,30	0,70	2,80	0,70	2,80
18	11,60	15,00	43,30	18,00	0,60	1,50	1,50	1,20	0,60	1,50	0,30	0,90
19	4,80	22,80	53,10	7,10	6,70	0,50	0,00	1,00	0,00	1,60	0,40	1,00
20	2,30	11,50	57,50	13,50	3,20	0,00	0,40	1,60	1,20	0,00	1,20	1,60
21	4,70	10,30	45,00	28,80	2,90	0,60	0,30	1,40	1,20	1,20	0,30	2,10
22	8,20	15,70	26,40	18,80	13,80	0,00	0,00	3,80	0,00	2,40	0,60	8,10
23	4,30	17,80	49,50	10,10	4,00	0,60	1,80	3,40	0,30	1,50	0,90	2,60
24	4,80	12,80	48,40	16,20	4,40	1,60	1,00	3,60	0,20	2,00	0,40	2,20
25	4,00	10,70	57,60	13,60	5,00	0,60	2,40	2,10	0,00	1,00	0,00	1,40
26	3,50	16,00	51,30	13,10	4,90	1,20	2,20	1,80	0,40	2,40	0,60	2,20
27	3,30	8,20	56,50	18,20	1,80	1,60	5,30	1,60	0,10	0,20	0,60	0,60
28	3,20	10,30	54,20	11,20	6,60	2,00	2,40	3,00	0,70	2,00	0,00	1,90
29	2,80	5,20	68,40	8,50	4,10	1,30	4,10	1,80	0,50	0,70	0,60	0,70
30	1,00	27,10	46,20	17,00	1,00	2,10	2,70	1,40	0,00	0,50	0,00	1,80
31	1,60	21,50	50,20	6,90	4,00	2,30	3,00	1,90	0,80	1,00	0,40	2,50
32	3,30	25,30	35,60	15,40	4,90	1,20	3,30	3,70	1,20	1,50	0,40	1,70
33	4,00	32,40	32,70	14,70	3,80	1,00	3,40	1,00	1,30	1,70	0,20	1,20
34	1,60	26,80	35,10	21,20	3,70	0,30	0,30	1,60	1,00	3,30	0,60	2,30
35	1,40	10,80	45,90	7,00	12,80	0,70	0,00	10,80	0,00	1,40	0,70	5,40
36	2,00	7,70	57,90	16,70	2,00	1,20	1,20	2,80	2,00	0,80	1,60	1,60
37	3,00	10,90	67,10	4,80	4,20	1,20	0,00	1,20	0,60	3,00	1,20	0,60
38	4,90	11,50	62,50	12,00	6,00	1,50	0,00	2,50	2,50	1,00	0,00	1,00
39	7,90	4,20	60,10	0,00	17,10	0,00	0,00	4,80	0,60	0,00	1,80	1,80
40	13,90	28,90	30,90	0,50	13,90	0,30	0,00	0,50	0,80	2,70	2,10	0,50
41	22,00	10,00	50,00	0,00	11,00	0,00	0,00	1,00	3,00	2,00	1,00	0,00
42	12,90	7,00	63,50	3,60	7,00	0,60	0,00	1,80	0,60	0,00	1,80	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	12,00	9,00	53,80	9,00	4,20	1,20	0,00	1,20	1,20	3,00	0,00	1,80
45	6,50	23,40	39,50	11,50	10,90	0,00	1,50	1,50	1,50	0,00	2,00	1,00
46	5,50	6,50	69,00	0,50	10,00	0,00	0,00	1,50	0,50	2,00	1,00	0,00
47	4,90	5,70	73,80	2,00	5,30	0,40	1,20	1,60	1,60	2,00	0,80	0,00
48	1,20	6,10	70,70	5,40	5,70	0,00	3,10	3,50	0,40	2,00	0,40	1,20
49	3,80	1,60	77,50	4,50	3,80	0,00	1,00	1,30	1,00	1,80	0,60	0,60
50	14,10	8,00	8,00	0,00	37,00	1,60	5,50	7,80	1,60	3,20	4,80	2,40
51	7,80	14,40	15,70	0,60	29,40	0,00	6,00	7,20	0,60	5,80	3,60	4,80
52	10,00	20,00	12,00	2,00	20,00	0,00	13,00	8,00	1,00	7,00	4,00	2,00
53	8,00	22,60	6,40	7,00	32,20	0,00	0,00	11,30	0,00	4,80	0,00	6,40
54	16,00	16,00	3,60	1,20	23,00	1,20	14,60	9,60	1,20	4,80	0,00	2,40

Tabla 1. Abundancia relativa de los táxones hallados en las muestras estudiadas. R. pseud = *Reticulofenestra pseudoubili-*
cus; haq/min = *R. haqii* / *R. minutula*; p. Plac. = placolitos pequeños; D. antar = *Dictyococcites antacticus*; C. pelag
= *Coccolithus pelagicus*; G. rotul = *Geminilithella rotula*; G. jaraf = *G. jafarii*; Helicol = Helicolitos; C. macin =
Calcidiscus macintyreii; C. lepto = *C. leptoporus*; Asterol = Asterolitos; Esfenol = Esfenolitos.

Geminilithella rotula,
Geminilithella jafarii,
Calcidiscus macintyreii,
Calcidiscus leptoporus,
Helicolitos,
Asterolitos, y
Esfenolitos.

- (1) La caracterización de cada uno de los táxones y grupos incluidos en los Reticulofenestridos, así como una discusión en relación a su posición sistemática, puede encontrarse en Flores y Sierro (1989). En este trabajo se han seguido esos conceptos.

COMENTARIOS ACERCA DE LA TÉCNICA FACTORIAL UTILIZADA

La mayoría de los fenómenos naturales presentan una estructura compleja, en la que están actuando numerosas causas. De esta complejidad no escapan los estudios micropaleontológicos, en los que un número, generalmente elevado, de táxones cambian sus abundancias relativas a lo largo de una serie de muestras. Puesto que los datos de abundancias específicas son difíciles de manejar, se hace necesario encontrar una herramienta que permita

poner de manifiesto las relaciones que se establecen entre los diferentes táxones considerados a lo largo del tiempo y/o del espacio.

La estadística multivariante cumple este objetivo, ya que permite analizar conjuntamente más de dos variables (táxones, en nuestro caso) de un conjunto de observaciones (muestras). Su aplicación parte de la hipótesis de que a cualquier conjunto de observaciones multivariante subyace una estructura simple puesta de manifiesto por un pequeño número de vectores ortogonales entre sí y, por tanto, no correlacionables. Cada uno de estos vectores puede ser interpretado como una causa o factor que condiciona la distribución de los diferentes táxones en las muestras estudiadas. Así pues, la relación entre el total de los táxones hallados en el conjunto de muestras se puede explicar en términos de un número limitado de causas que pueden o no estar relacionadas entre sí.

La técnica empleada en este trabajo es un análisis factorial en modo-Q. Este procedimiento permite establecer la relación existente entre las muestras estudiadas con el fin de individualizar su posible ordenación en el espacio multivariante a partir del cómputo de una matriz de similitudes entre todos los pares posibles de muestras y la extracción de sus valores y vectores propios.

Existen diversos programas de ordenador que ejecutan este tipo de tareas. Nosotros hemos utilizado el denominado CABFAC, desarrollado por Imbrie y Kipp (1971) y adaptado para su funcionamiento en un ordenador Macintosh. Este programa primero calcula, basándose en una matriz de datos normalizados, los componentes principales de la asociación. La tipificación (ajuste de datos a una normal) se realiza por muestras, de tal forma que se concede un peso máximo a los táxones con mayores abundancias y una carga pequeña a los táxones pobremente representados.

Los componentes principales son vectores linealmente independientes que, en esta aplicación, son combinación lineal de los táxones de partida. De esta forma, los componentes principales pueden ser contemplados como nuevas variables que tienen la peculiaridad de representar propiedades independientes y de evitar la redundancia de la información taxonómica.

La solución aportada por el análisis de componentes principales identifica miembros extremos de una asociación ideal. A partir de esta asunción se considera que la asociación hallada en cada muestra es una mezcla en diferentes proporciones de dichos miembros extremos y, por tanto, cada componente principal describe cambios en la distribución florística que pueden ser atribuidos a variaciones en la abundancia de dos asociaciones hipotéticamente extremas.

La siguiente operación que realiza el CABFAC es una rotación ortogonal de los ejes calculados por el análisis de componentes principales. La aplicación de esta rotación da como resultado un nuevo conjunto de ejes que se aproximan más a las condiciones naturales y que son conceptualmente más sencillos, ya que se elimina el carácter bipolar de los

componentes principales y cada nuevo eje queda explicado por el taxon que más carga o peso ejerce sobre él.

La ventaja de la técnica empleada, aparte de poder reducir el número de variables que hay que manejar, es doble. Por una parte, la normalización minimiza los posibles errores de recuento; por otra, los factores calculados poseen la peculiaridad de explicar secuencialmente la varianza de los datos en orden decreciente de importancia. Obviamente, para explicar el 100 % de la varianza se requerirían tantos factores como táxones se han contabilizado, pero la gran ventaja de esta técnica estriba en su capacidad para explicar una cantidad importante de varianza (98 % en nuestro caso) con un pequeño número de ejes o factores (4 en este trabajo).

Los datos de salida del programa consisten en dos matrices. La matriz de factores de carga (*Variance Factor Matrix*) expresa la proporción con que cada factor está representado en cada una de las muestras analizadas. La matriz de valores en los factores (*factor scores*) pone de manifiesto la proporción con que cada taxon contribuye a cada uno de los factores, o lo que es lo mismo, la composición específica de cada eje.

El paso final es la interpretación de los ejes, la

MUESTRA	COMUNAL	1	2	3	4
3	0,981	0,272	0,283	-0,909	-0,014
4	0,992	0,850	0,182	-0,487	0,012
5	0,978	0,878	0,124	-0,418	0,131
6	0,989	0,909	0,169	-0,355	0,088
7	0,975	0,413	0,339	-0,787	0,265
8	0,993	0,879	0,322	-0,332	0,076
9	0,993	0,742	0,206	-0,618	0,131
10	0,994	0,926	0,190	-0,313	-0,055
11	0,996	0,038	0,303	-0,950	0,029
12	0,997	0,958	0,173	-0,203	0,086
13	0,830	0,210	0,634	-0,251	0,567
14	0,990	0,821	0,429	-0,364	0,014
15	0,991	0,865	0,247	-0,426	-0,010
16	0,994	0,781	0,301	-0,542	-0,014
17	0,954	0,727	0,358	-0,482	-0,256
18	0,992	0,848	0,216	-0,459	0,121
19	0,991	0,888	0,314	-0,301	-0,115
20	0,997	0,947	0,165	-0,271	0,007
21	0,973	0,822	0,123	-0,511	0,148
22	0,953	0,628	0,493	-0,550	0,117
23	0,997	0,903	0,271	-0,326	-0,052
24	0,997	0,900	0,225	-0,366	0,051
25	0,997	0,942	0,199	-0,260	0,034
26	0,999	0,909	0,246	-0,334	-0,029
27	0,985	0,933	0,130	-0,304	0,071
28	0,995	0,940	0,236	-0,237	0,020
29	0,995	0,978	0,153	-0,121	0,035
30	0,996	0,813	0,228	-0,511	-0,149
31	0,993	0,893	0,279	-0,310	-0,148
32	0,997	0,743	0,347	-0,556	-0,128
33	0,984	0,656	0,362	-0,613	-0,215
34	0,997	0,704	0,276	-0,640	-0,129
35	0,958	0,879	0,385	-0,193	0,003
36	0,991	0,946	0,123	-0,277	0,061
37	0,999	0,972	0,189	-0,132	-0,030
38	0,998	0,949	0,210	-0,229	0,031
39	0,993	0,926	0,360	0,005	0,074
40	0,916	0,628	0,622	-0,339	-0,139
41	0,951	0,858	0,418	-0,090	0,176
42	0,993	0,953	0,254	-0,092	0,106
44	0,993	0,936	0,241	-0,211	0,120
45	0,991	0,784	0,431	-0,428	-0,088
46	0,999	0,968	0,245	-0,030	0,012
47	0,999	0,982	0,181	-0,048	0,018
48	0,996	0,978	0,178	-0,086	0,000
49	0,999	0,989	0,130	-0,041	0,048
50	0,936	0,124	0,946	0,005	0,163
51	0,967	0,342	0,913	-0,119	-0,033
52	0,949	0,271	0,885	-0,290	-0,091
53	0,930	0,091	0,899	-0,333	-0,045
54	0,937	0,035	0,940	-0,210	0,092
	VARIANZA	64,080	16,151	16,080	1,687
	VARIANZA ACUMULADA	64,080	80,231	96,311	97,998

Tabla 2. Matriz de los factores de carga.

VARIABLE	1	2	3	4
<i>R. pseudoumbilicus</i>	-0,0192	0,3430	-0,0740	0,6935
<i>R. haqii/minutula</i>	-0,0153	0,3857	-0,5926	-0,5746
Pequeños placolitos	0,9974	0,0670	0,0127	0,0039
<i>D. antarcticus</i>	0,0199	-0,1685	-0,7783	0,3556
<i>C. pelagicus</i>	-0,0508	0,7609	0,1702	0,0195
<i>G. rotula</i>	0,0011	-0,0077	-0,0726	0,0579
<i>G. jafarii</i>	-0,0170	0,1868	0,0248	-0,0836
Helicolitos	-0,0335	0,2421	-0,0388	0,2088
<i>C. macintyreii</i>	0,0079	0,0197	-0,0090	-0,0004
<i>C. leptoporus</i>	-0,0044	0,1237	0,0008	-0,0699
Asterolitos	-0,0043	0,0641	-0,0070	-0,0279
Esfenolitos	-0,0046	0,0918	-0,0315	0,0492

Tabla 3. Matriz de los factores de ajuste.

cual ha de hacerse por el investigador. Cada uno de los ejes ha de ser asimilado a una causa (o conjunto de causas interconectadas), tanto oceanográfica, como biológica o tafonómica. Una vez conocidas las variables extremas, hay que estudiar su naturaleza y postular una estructura causal.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Sobre los datos que se transcriben en la Tabla 1 se aplicó la técnica que se reseña en el apartado precedente. Los resultados que a continuación se comentarán, aparecen en las Tablas 2 y 3.

Se han considerado significativos 4 factores, ya que entre ellos explican un 98 % de las variaciones que se observan; asimismo es de destacar que la práctica totalidad de las muestras poseen comunaldades superiores al 0,9, lo que determina que los 4 factores considerados expliquen con un alto grado de fiabilidad la variabilidad observada. Las puntuaciones de estos 4 factores aparecen en la matriz *varimax factor* (Tabla 2, y Figura 3).

De igual modo, con la matriz *varimax factor scores*, reflejada en la Tabla 3, se han realizado otra serie de gráficos en los que se enfrentan los diferentes factores (Figura 4), a partir de los cuales se obtendrán los táxones o grupos determinantes, y en su caso, las asociaciones características.

Analicemos sobre lo apuntado cada uno de los factores:

FACTOR 1

Varianza explicada: 64,08 %.

Este factor carece generalmente de sentido ecológico. Se interpreta en la mayoría de los casos como un vector medio del conjunto de los datos micropaleontológicos. Describe desviaciones de una composición nanoflorística hipotéticamente media. No obstante, en el caso que nos ocupa parece acertado realizar algunas consideraciones.

El grupo que controla este factor es el de los

“placolitos pequeños” (0,9974), hecho que resulta obvio a la vista de que es el grupo dominante de la asociación (Tabla 1). Los mínimos observados en el Factor 1 coincidirían, en general, con los mínimos en abundancia de ese mismo taxon apuntados por Flores *et al.* (1989).

Flores (1985, 1987) y Flores y Sierro (1987) comentan que un descenso de las temperaturas de las masas de aguas superficiales podría haber sido el causante del aumento de estas formas en el Tortonense Superior del Atlántico, hecho que no observan en el Mediterráneo (Flores *et al.*, 1989). Estas consideraciones, a la vez del hecho de que los “placolitos pequeños” son formas relativamente resistentes a la disolución, hacen pensar que este Factor 1 pueda poseer un doble sentido. Por un lado, abundancia de Reticulofenéstridos pequeños (producción de formas pequeñas), y por otro, tafonómico (preservacional y/o litológico).

Así pues, el tramo basal estaría controlado litológicamente (ver Introducción). Las arenas coinciden con una reducción en la abundancia global del plancton. Es de destacar que el Factor 1 se mantiene constante, con pulsaciones puntuales, desde la muestra 50 a la 16, por lo que cabría hablar de una homogeneidad relativa en el reparto de los “placolitos pequeños”, o bien de una estabilidad relativa de la asociación. Valores bajos del Factor 1 en el tramo B (Figura 3) estarían de acuerdo con la interpretación de Flores *et al.* (1989), en el sentido de que serían producto de la acción de corrientes de fondo (con la consiguiente alteración). Las oscilaciones observadas en el tramo D podrían ser explicadas por cambios en las condiciones ambientales de las masas de agua superficiales, como consecuencia de variaciones en la temperatura, salinidad o contenido en nutrientes, sin que sea posible precisar más en ese sentido.

No existen otros táxones determinantes en la definición de este factor, ya que el resto de las puntuaciones, tal como se pone de manifiesto en la Figura 4, están próximas a 0.

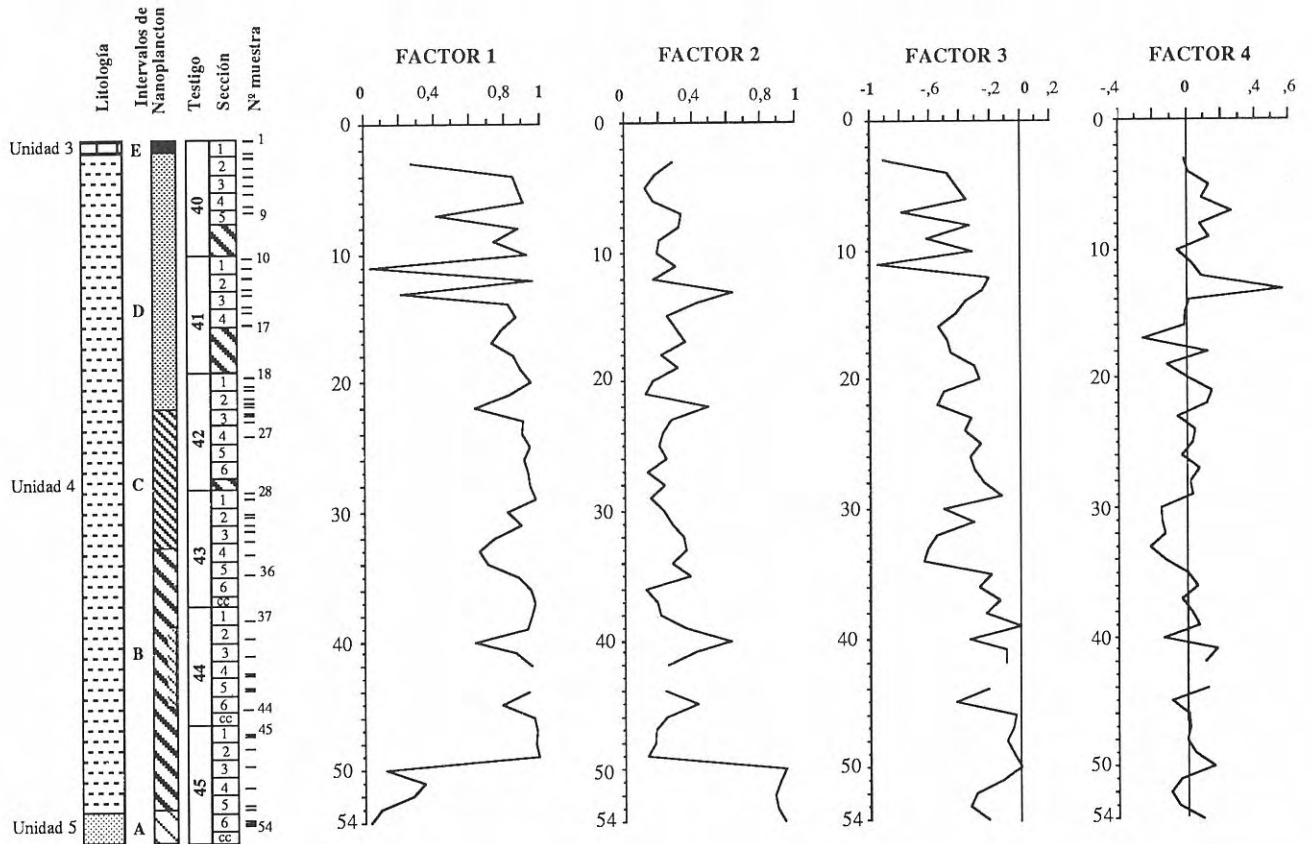


Figura 3. Representación gráfica de los factores de carga a lo largo del sondeo (Los datos numéricos aparecen en la Tabla 2).

FACTOR 2

Varianza explicada: 16,15 %.

La asociación definida por este factor la integran *Coccolithus pelagicus* (0,7609) y en menor medida el grupo *Reticulofenestra haqii/minuteula* (0,3857) y *R. pseudoumbilicus* (0,3430). Comparado con el Factor 1, se observa una distribución inversa de las puntuaciones, de manera que los valores máximos del Factor 2 coinciden con mínimos del Factor 1.

C. pelagicus es un taxon tradicionalmente empleado como indicador paleoclimático, dado que en la actualidad se observa una mayor abundancia de este taxon hacia latitudes altas (McIntyre y Bé, 1966). Similar efecto ha sido puesto de manifiesto por diversos autores en sedimentos del Terciario hacia latitudes altas (Haq y Lohmann, 1976; Bukry, 1980; Backman, 1980; Martín y Flores, 1990). Sin embargo, su significado paleoclimático para el Mioceno Superior ha sido cuestionado por Flores (1985, 1987) y Flores y Sierro (1987), en secciones relacionadas con aguas transicionales, donde los integrantes fundamentales son los Reticulofenestridos. Un efecto similar puede llegar a darse en áreas donde haya existido una disolución activa (Bukry *et al.*, 1973).

En el caso que nos ocupa, hemos interpretado el Factor 2 como indicador de alteración tafonómica, y no consecuente de manera obvia con una variación térmica. Los valores más altos se corresponderían con aquellas muestras en las que se ha producido una selección por tamaños activa (caso del tramo B; hay que tener en cuenta que *C. pelagi-*

cus posee un diámetro medio entre 4 y 5 veces el de los "placolitos pequeños"), o batimétrica, manifiesta en la diferente litología (caso del tramo A). En el tramo D cabe la posibilidad de que influyan ciertas características ambientales ya citadas en el comentario al Factor 1, que determinan una cierta anomalía en este intervalo.

Reticulofenestra pseudoumbilicus es otro de los táxones de tamaño considerable, pero aunque su posición relativa respecto a *C. pelagicus* es coherente (Figura 3), las puntuaciones que alcanza no son significativas.

FACTOR 3

Varianza explicada: 16,08 %.

Este factor define la asociación de *Dictyococcites antarcticus* (-0,7783) juntamente con el grupo *R. haqii/minuteula* (0,5926). El primer taxon ha sido considerado característico de masas de agua superficiales frías (Backman, 1980; Haq y Malmgrem, 1981; Flores, 1985; Martín y Flores, 1990); en consecuencia, el Factor 3 podría ser interpretado como *térmico* en el sentido de que valores máximos (tendientes a 0) se corresponderían con asociaciones relativamente más cálidas, mientras que las que se definen con valores mínimos, se asimilarían a condiciones relativamente más frías. Así pues, en el sondeo estudiado se definiría un intervalo relativamente más cálido entre las muestras 54 y 34. A partir de este instante, de forma progresiva pero fluctuante, se iniciaría un descenso en la temperatura de las masas de agua

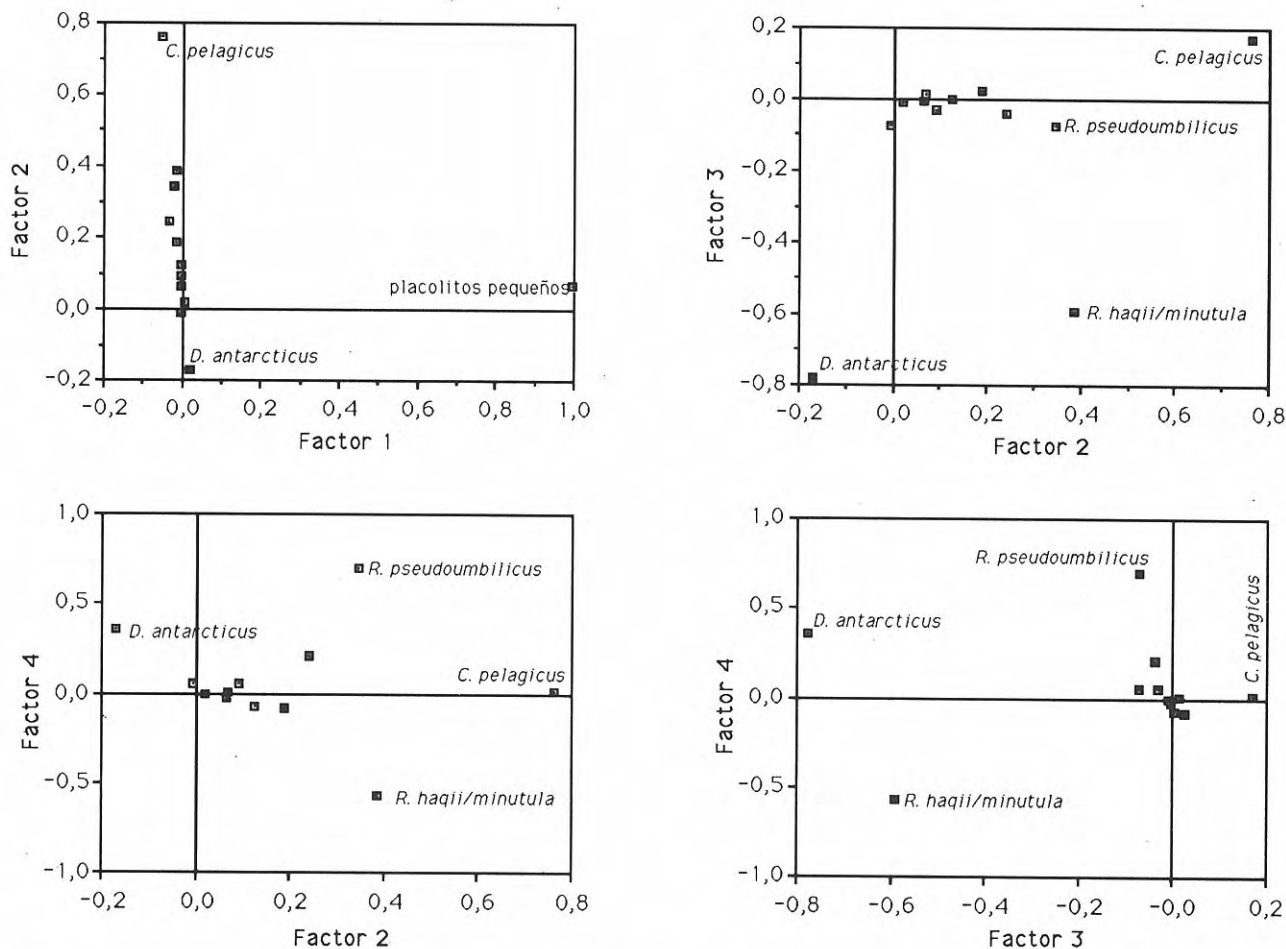


Figura 4. Representación de los factores de ajuste tomados dos a dos (Los datos numéricos aparecen en la Tabla 3).

superficiales. En el tramo entre las muestras 16 y 3, se observan las pulsaciones más violentas, que en consecuencia corresponderían a mínimos térmicos (muestras 3, 7 y 11).

FACTOR 4

Varianza explicada: 1,69 %.

Para la definición de este factor hay que tener en cuenta dos taxones: *Reticulofenestra pseudoubilicus* (0,6935) y el grupo *Reticulofenestra haqii/minutula* (-0,5746), siendo el primero el fundamental, aunque en posición antagónica al segundo. Flores *et al.* (1989) ya apuntaron la distribución inversa de estos taxones en sus análisis cuantitativos.

R. pseudoubilicus se ha considerado tradicionalmente cosmopolita (Bukry, 1973). Por otra parte, la variabilidad morfológica dentro de los Reticulofenestridos ha sido ampliamente discutida y aún hoy es objeto de debate. Parece insinuarse que en ciertas condiciones podría dominar uno u otro morfotipo. En cualquier caso, altas puntuaciones en este factor de *R. pseudoubilicus*, y con signo inverso del grupo *R. haqii/minutula*, así como valores de *D. antarcticus* desplazados hacia los positivos, caracterizarían una asociación de aguas transicionales, con una temperatura de las aguas superficiales templado-cálida (no extrema).

Desde la base hasta aproximadamente la mitad

de la serie (muestra 29), hay una distribución prácticamente idéntica a la del Factor 3, lo que podría hacerse corresponder con un control térmico; esto es, pulsaciones máximas del Factor 4 marcarían temperaturas relativamente más altas en las masas de agua superficiales. Por encima la distribución es anómala, sin que sea posible una interpretación clara, pudiendo haberse superpuesto cambios ambientales que alterasen ulteriormente la salinidad, distribución de nutrientes, etcétera.

De cumplirse lo expuesto, *R. pseudoubilicus* (es decir los morfotipos mayores de los Reticulofenestridos) en proporciones altas estarían indicando temperaturas de las masas de agua superficiales superiores a aquéllas en las que dominase el Grupo *R. haqii/minutula* (sin ser indicadores tan extremos como *D. antarcticus*). Es decir, que el descenso de temperatura, o variaciones en alguna otra característica de las masas de agua, se traducirían en un incremento de las formas menores. Una situación similar, si bien teniendo en cuenta los "placolitos pequeños" y el Grupo *R. haqii/minutula*, sería la que Flores y Sierro (1987, 1989) mostraron en el Atlántico.

CONCLUSIONES

Del análisis en modo Q en las muestras del

sondeo ODP 654, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1) La técnica aplicada es válida. Las 12 variables (táxones y/o grupos de táxones) de partida han quedado reducidos a 4 factores que explican el 98 % de las variaciones de la asociación. La fiabilidad es muy elevada, al ser las comunalidades calculadas, en general, superiores al 0,9.

2) De la interpretación de los 4 factores considerados, se obtiene que los procesos que han determinado las variaciones de las asociaciones nanoflorísticas son de diferente naturaleza. Por un lado se ha producido una alteración tafonómica, determinada por la disolución puntual y/o por la acción de corrientes de fondo. Similar efecto puede producirse en tramos en los que las características del medio de sedimentación, fundamentalmente en lo que hace referencia a la batimetría (como es el caso de las arenas glauconíticas), fue distinto, y por lo tanto no comparables. Por otra parte existe un claro control térmico. A la vista de la varianza explicada por los diferentes factores, se pone de manifiesto que la asociación nanoflorística hallada responde más a un condicionante tafonómico que ecológico, con excepciones puntuales, como corresponde al tramo D.

3) Siguiendo el esquema estratigráfico propuesto por Flores *et al.* (1989), desde el Tortoniense Superior las masas de agua superficiales sufrirían un progresivo enfriamiento, máximo en el Mesiniense Inferior, una vez que la Crisis de Salinidad se encuentra definida.

4) Las importantes fluctuaciones del Factor 3 en el Mesiniense inferior, se corresponden con las señaladas por Glaçon *et al.* (1990), e interpretadas como producto de una alternancia de ciclos glaciales e interglaciales, que podrían haber determinado una distribución diferencial de nutrientes (consecuente con la alteración del modelo de circulación), salinidad y/o térmico. Coincidiría asimismo con el cierre del corredor Bético, hecho que podría ser el determinante parcial de las anomalías registradas en la distribución de los factores, al producirse el aislamiento de la Cuenca Mediterránea. Esto ha sido puesto de manifiesto mediante 2 factores. El Factor 4 sería indicador de temperaturas de las aguas superficiales con temperaturas más moderadas que el Factor 3, si bien es mucho más influyente este último. La distribución de la carga de estos factores en los intervalos anteriores se ajusta a lo propuesto por Flores *et al.* (1989). El tramo C de abundancia de nanoplancton (Figura 2), que los citados autores comentan, posee unas características similares a secciones de la misma edad del Atlántico y cuencas adyacentes, y se caracterizaría por ser el más homogéneo, controlado por una asociación templado-cálida (dentro del descenso general observado). Por su parte, el tramo B muestra una distribución irregular, como consecuencia de una relativa restricción en la comunicación entre el Atlántico y el Mediterráneo, así como por la acción de las corrientes de fondo que se ha observado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la organización del ODP, y en particular a la Dra. G. Glaçon, la cesión de las muestras, así como al Dr. R. Sprovieri la facilitación del programa y sus extensos y valiosos comentarios respecto a la estadística multivariante. Igualmente, expresamos nuestra gratitud al Dr. J. Civis y al revisor anónimo que con sus observaciones han contribuido a la mejora del texto. Trabajo financiado por el Proyecto DGICYT PB-89-0398-CO2.

BIBLIOGRAFÍA

- Backman, J. 1980. Miocene-Pliocene nannofossils and sedimentation rates in the Hatton Rockall Basin, NE Atlantic Ocean. *Stockholm Contributions in Geology*, **36**, 1-91.
- Borsetti, A. M.; Curzi, P. V.; Landuzzi, V.; Mutti, M.; Ricci Lucchi, F.; Sartori, R.; Tomadin, L. y Zuffa, G. 1990. Messinian and Pre-Messinian sediments from ODP Leg 107 Sites 652 and 654 in the Tyrrhenian Sea: Sedimentological and petrographic study and possible comparisons with Italian sequences. *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, 169-186.
- Bukry, D. 1973. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **15**, 685-703.
- Bukry, D. 1980. Coccolith stratigraphy, Tropical Eastern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 54. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **54**, 535-543.
- Bukry, D.; Dinkelman, M. D. and Kaneps, A. 1973. Biostratigraphy of the Equatorial East Pacific Rise. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **16**, 915-927.
- Channell, J. E. T.; Torii, M. and Hawthorne, T. 1990. Magnetostratigraphy of sediments recovered at Sites 650, 651, 652, and 654 (Leg 107, Tyrrhenian Sea). *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, 335-346.
- Davis, J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. J. Wiley & Sons, New York, 1-646.
- Dennison, J. M. and Hay, W. W. 1967. Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies. *Journal of Paleontology*, **41**, 706-708.
- Flores, J. A. 1985. *Nanoplancton calcáreo en el Neógeno del borde noroccidental de la Cuenca del Guadalquivir (SO de España)*. Tesis Doctoral Univ. Salamanca. Resumen Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca, 1-37.
- Flores, J. A. 1987. El nanoplancton calcáreo en la formación "Arcillas de Gibraleón": síntesis bioestratigráfica y paleoecológica. In: *Paleontología del Neógeno de Huelva*. Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca, 65-68.
- Flores, J. A. and Sierro, F. J. 1987. Calcareous plankton in the Tortonian/Messinian transition series of the Northwestern edge of the Guadalquivir basin. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, **39**, 67-84.
- Flores, J. A. and Sierro, F. J. 1989. Calcareous nannoflora and planktonic foraminifera in the Tortonian/Messinian boundary interval of East Atlantic DSDP sites and their relation to Spanish and Moroccan sections. In: *Nannofossils and their applications* (Eds. J. Crux & S. Van Heck). Ellis Horwood Limited, Chichester, 249-266.
- Flores, J. A., Sierro, F. J. and Glaçon, G. 1989. Analysis of the calcareous nannoflora and planktonic Foraminifera

- fera of the pre-evaporitic sediments of the Tyrrhenian sea (ODP site 654). *INA Newsletter*, **11**, 60.
- Glaçon, G.; Vergnaud-Grazzini, C.; Iaccarino, S.; Rehault, J. P.; Randrianasolo, A.; Sierro, F. J. and Weaver, P. 1990. Planktonic foraminiferal events and stable isotopic record in the Upper Miocene of the Tyrrhenian sea, ODP site 654, Leg 107. *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, 415-427.
- Haq, B. U. and Lohmann, G. P. 1976. Early Cenozoic calcareous nannoplankton biogeography of the Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, **1**, 119-19.
- Haq, B. U. and Malmgren, B. A. 1981. Potential of calcareous nannoplankton in paleoenvironmental interpretations - a case study of the Miocene of the Atlantic Ocean. *Stockholm Contributions in Geology*, **37**, 79-98.
- Imbrie, J. 1964. Factor analytic model in paleoecology. In: *Paleoecology* (Eds. J. Imbrie & N. D. Newell). 407-422.
- Imbrie, J. and Kipp, N. G. 1971. A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a Late Pleistocene Caribbean core. In: *The Late Cenozoic glacial ages*. (Ed. K.K. Turekian). Yale University Press, New Haven, 71-181.
- Kastens, K. A.; Mascle, J.; Auroux, C. *et al.* 1987. Site 654. *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, **107**, 747-875.
- Klovan, J. E. and Imbrie, J. 1971. An algorithm on FORTRAN-IV program for large-scale Q-mode factor analysis and calculation of factor scores. *Mathematical Geology*, **3**, 61-77.
- Lohmann, G. P. 1978. Abyssal benthonic foraminifera as hydrographic indicators in the Western South Atlantic Ocean. *Journal of Foraminiferal Research*, **8**, 6-34.
- Malgrem, B. A. and Haq, B. U. 1982. Assessment of quantitative techniques in paleobiogeography. *Marine Micropaleontology*, **7**, 213-236.
- Martín, A. J. y Flores, J. A. 1990. Análisis nanoflorístico del Mioceno Superior-Plioceno, en el sondeo 116 (D.S.D.P.), Atlántico nororiental. *Actas IV Jornadas de Paleontología*. Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca, 235-241.
- McIntyre, A. and Bé, A. W. H. 1967. Modern Coccolithophoridae at the Atlantic Ocean-I. Placoliths and Cyrtoliths. *Deep Sea Research*, **14**, 561-597.
- Patterson, R. T. and Fishbein, E. 1989. Re-examination of the statistical methods used to determine the number of point counts needed for micropaleontological quantitative research. *Journal of Paleontology*, **63**, 245-248.
- Peterson, L. C. 1984. Recent abyssal benthic foraminiferal biofacies of the Eastern Equatorial Indian Ocean. *Marine Micropaleontology*, **8**, 479-519.

Manuscrito recibido: 2 de febrero, 1990.

Manuscrito aceptado: 8 de octubre, 1990.