

# DIFERENCIABILIDAD DE TURBOROTÁLIDOS DEL SERRAVALLENSE Y DEL MESSINENSE MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIANTE (\*)

P. PALMQVIST, J. M. GONZÁLEZ DONOSO y F. SERRANO

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias de Málaga  
29071 Málaga. España

## ABSTRACT

In this study we are showing the possibilities of differentiating two sets of turborotalids by means of multivariate analysis. One group is from the Middle Miocene (Serravallian) and another one is from the Upper Miocene (Messinian). These two groups show similar morphologies and, within each group, it is possible to distinguish the morphotypes visually. In this fashion, we use variates which reflect the growth of the chambers and the axial shape of the shell. We are concluding that:

- A biometric differentiation for Middle and Upper Miocene turborotalids is possible.
- The established “species” in each set are probably morphotypical variants within the same biological species.
- In agreement with the above mentioned statements we find no reason to maintain the genus (or subgenus) *Jenkinsella*, as *Neogloboquadrina continua* (Blow) appears to be a morphological variant in populations that include *Jenkinsella siakensis* (Le Roy).

**Keywords:** *Jenkinsella*, *Neogloboquadrina*, Sarravallian, Messinian, Biometry, Multivariate Analysis.

## RESUMEN

Se estudian las posibilidades de diferenciar, por medio de análisis multivariante, dos conjuntos de turborotalidos, uno del Mioceno Medio (Serravallense) y otro del Superior (Messinense), con morfologías similares y, dentro de cada conjunto, los morfotipos distinguidos visualmente. Para ello, se utilizan variables que reflejan el crecimiento de las cámaras y la forma del contorno de la concha en vista axial. Como conclusiones se estima que:

- Biométricamente, es posible la separación de los turborotalidos del Mioceno medio y del superior.
- Probablemente, las distintas “especies” establecidas en cada conjunto no sean más que variantes morfotípicas dentro de una misma especie biológica.
- De acuerdo con lo anterior, dado que *Neogloboquadrina continua* (Blow) no parece ser otra cosa que una variante morfológica en el seno de las poblaciones que contienen *Jenkinsella siakensis* (Le Roy), no hay motivos para mantener el género (o subgénero) *Jenkinsella*.

**Palabras clave:** *Jenkinsella*, *Neogloboquadrina*, Serravallense, Messinense, Biometría, Análisis multivariante.

## INTRODUCCIÓN

Los turborotalidos miocénicos (*sensu* Serrano, 1979), es decir, los foraminíferos planctónicos con periferia redondeada y abertura umbilical-extraumbilical, tienden a ser situados, actualmente, en una serie de géneros y subgéneros, en función de supuestas relaciones filogenéticas (v. g., véase Kennett y Srinivasan, 1983).

La diferenciación e identificación de las numerosas especies que han sido propuestas dentro de este grupo no es tarea sencilla. Incluso es difícil distinguir formas que son ubicadas en distintas líneas filogenéticas, a causa de la homogeneidad morfológica del grupo. En efecto, se trata de formas con caracteres poco especializados, lo que se traduce en un campo de variabilidad morfológica muy restringido y unas diferencias entre especies generalmente

(\*) Este trabajo forma parte del proyecto PB-85-315, financiado por la DGICYT.

muy tenues. Y, para complicar el problema, todo induce a pensar que hay fenómenos de iteratividad y/o convergencia heterocrónica.

Un caso de homomorfismo, particularmente interesante porque afecta a formas que han sido utilizadas con profusión como marcadores bioestratigráficos, es el de los turborotálidos incluidos en *Globorotalia* (*Jenkinsella*) por Kennett y Srinivasan (*op. cit.*) con las formas poco evolucionadas de *Neogloboquadrina*. Compárense, al respecto, los ejemplares de *J. siakensis* (Le Roy) con los de *N. acostaensis* (Blow) y *N. humerosa* (Takayanagi y Saito) figurados por Blow (1969), Stainforth *et al.* (1975) y Kennett y Srinivasan (*op. cit.*), por sólo citar algunos de los autores que han ilustrado las tres formas en un mismo trabajo. Evidentemente, las semejanzas son notables, incluida la textura superficial de la pared, reduciéndose las diferencias a aspectos muy sutiles o triviales.

Las dificultades aumentan por el hecho de que, en el conjunto de individuos de una muestra con *J. siakensis*, no es difícil encontrar ejemplares idénticos a *N. acostaensis* o *N. humerosa* y lo mismo sucede a la inversa. Esto podría explicar una reciente cita de *N. acostaensis* en el Mioceno medio (Mazza, 1986).

Hay que concluir, pues, que la distinción entre estas formas es, cuanto menos, difícil, si se hace abstracción de sus diferentes distribuciones estratigráficas: *J. siakensis* se extingue en el límite entre las biozonas N.14 y N.15, mientras que *N. acostaensis* aparece en el límite entre la N.15 y la N.16 (*N. humerosa* un poco después), pudiendo afirmarse que existe un consenso bastante general sobre este extremo. Pero no siempre se cuenta con los elementos necesarios para establecer la edad de la muestra haciendo caso omiso de los turborotálidos.

Por otra parte, ocurre frecuentemente que en una muestra que contiene individuos asignables a dos o más especies de turborotálidos, no incompatibles en cuanto a edad, aparecen también individuos de características intermedias entre ellos; en tales casos, la conclusión más juiciosa es que, durante el intervalo de tiempo que abarca la muestra, las supuestas especies no serían más que morfotipos de una única especie biológica, independientemente de que cada uno de tales morfotipos tenga su distribución estratigráfica característica y diferente de la de los otros. Distinta es la cuestión de que por razones prácticas se utilice un enfoque tipológico y se denomine cada uno de tales morfotipos como si de una verdadera especie se tratara (una discusión más amplia sobre estos aspectos se encuentra en González Donoso *et al.*, 1986).

Con objeto de profundizar en esta problemática, hemos realizado un estudio biométrico de turborotálidos procedentes de dos muestras, una del Mioceno medio, que contiene diferentes morfotipos de *Jenkinsella* y *Neogloboquadrina*, y otra del Mioceno superior, con varios morfotipos de *Neogloboquadrina*; para someter a prueba los resultados obtenidos se recurrió a dos nuevas muestras de edades parecidas a las anteriores. Los objetivos perseguidos con

este estudio son dos: 1) indagar hasta qué punto los dos conjuntos de turborotálidos son distinguibles y 2) poner de manifiesto, con variables distintas de las utilizadas en la separación visual, si los morfotipos presentes en las muestras son, realmente, diferenciables.

Hay que señalar que en la selección de los ejemplares tratados biométricamente, para aumentar *a priori* la diferenciabilidad de los morfotipos, sólo se escogieron individuos típicos de cada uno, eliminando los de características intermedias, de manera que los morfotipos están más netamente separados de lo que realmente se encuentran en las muestras, según el análisis visual.

## MATERIALES ESTUDIADOS

### Formas del Mioceno Medio (Serravallense)

La muestra que ha suministrado los ejemplares analizados biométricamente (18-37-RG-9184) procede del sector central de la Depresión del Guadalquivir (Córdoba, España). Junto con los turborotálidos se encuentran, entre las formas de mayor interés bioestratigráfico, *Globorotalia praemenardii* Cushman y Stainforth (algunos de cuyos ejemplares son muy próximos a *G. menardi* (Parker, Jones y Brady)), *G. miozea* Finlay, *Globigerinoides subquadratus* Brönnimann y *Orbulina*. Si utilizamos el B.P.A. (biohorizonte de primera aparición) de *G. menardii* para separar el Serravallense "inferior" del Serravallense "medio", la muestra se situaría en las proximidades de dicho límite.

La muestra que hemos utilizado para someter a prueba los resultados (16-40-DR-9116) procede de la misma región, pero es algo más moderna en edad, pues además de los turborotálidos y de *G. praemenardii*, contiene ejemplares típicos de *G. menardii*, lo que es indicativo de un Serravallense "medio-superior"; la ausencia de *G. subquadratus* induce a asignarla a la parte superior de este intervalo, pero no se ha encontrado *Globigerina nepenthes* Todd, una forma que, aunque escasa en estas latitudes durante el Serravallense "superior", ya debería estar presente.

En el conjunto de los turborotálidos encontrados en las muestras hemos diferenciado cuatro morfotipos, tres de los cuales son asimilables, respectivamente, a *Jenkinsella siakensis* (Le Roy), *J. mayeri* (Cushman y Ellisor) y *Neogloboquadrina continua* (Blow) mientras que el cuarto presenta mayores problemas de asignación.

Como *J. siakensis* hemos identificado los ejemplares con cinco o más cámaras en la última vuelta, abertura en arco bajo que se extiende desde el ombligo hasta el margen periférico y suturas intercamerales radiales.

*J. mayeri* incluye ejemplares que se distinguen de los anteriores por tener una abertura más restringida y que, hacia la periferia, se eleva en arco alto, así como cámaras más estrechas y, en algunos ejemplares, las últimas suturas dorsales intercamerales inclinadas hacia atrás. Conviene hacer notar que en

la muestra 16-46-DR-9116 son muy raras las *J. mayeri* típicas, predominando las formas de características intermedias con *J. siakensis*.

Dentro de *N. continuosa* hemos incluido ejemplares semejantes a los anteriores, con abertura también en forma de arco alto, pero con pocas cámaras en la última vuelta de espira, entre 4 y 4,5.

El cuarto morfotipo diferenciado lo hemos denominado, informalmente, *N. continuosa-pachyderma* y en él hemos incluido los ejemplares con 4-4,5 cámaras en la última vuelta de espira, como *N. continuosa*, pero con abertura en ranura o arco bajo; morfológicamente recuerdan a las *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) que se encuentran en el Mioceno superior (de hecho Bandi, 1972, citó la presencia de esta forma a partir de la Biozona N.12), pero igualmente hay que señalar que algunos de los ejemplares observados se asemejan a *Turborotalia opima nana* Bolli.

Es necesario recalcar que entre estos cuatro morfotipos existen todas las formas intermedias imaginables, aunque provisionalmente estemos utilizando distintas denominaciones genéricas, en función de relaciones filogenéticas supuestas por otros autores (vg. Srinivasan y Kennett, *op. cit.*).

En la literatura micropaleontológica se encuentran descritos otros morfotipos de turborotálidos que aparecen en materiales del Mioceno medio: *T. peripheroronda* (Blow y Banner), *T. peripheroacuta* (Blow y Banner), *T. acrostoma* Wezel, *T. partimlabiata* (Ruggieri y Sprovieri), *T. challenger* (Srinivasan y Kennett) y *T. rikuchensis* (Takayanagi y Oda), que no han sido considerados en este trabajo porque sus morfologías se alejan del espectro que abarcan los cuatro morfotipos seleccionados. Otras formas como *T. semivera* Hornibrook, *T. bella* Jenkins y *T. pseudocontinua* Jenkins, han sido citadas preferentemente en materiales del Mioceno inferior, aunque sus morfologías encajan dentro de la variabilidad de las formas aquí consideradas. Si se trata de homomorfismos o de distribuciones estratigráficas incompletas, son problemas que se salen de los límites que nos hemos trazado en el presente trabajo.

### Formas del Mioceno Superior (Messinense)

Para realizar el tratamiento biométrico de los turborotálidos del Mioceno superior se ha seleccionado una muestra (CAL-399) tomada en materiales messinenses de la Cuenca de Níjar (Almería, SE de España) que contiene, además de *Neogloboquadrina* con enrollamiento sinistrorso, *Globorotalia mediterranea* Catalano y Sprovieri y *Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny). Bioestratigráficamente corresponde a la Biozona de *G. mediterranea*, Subzona de *G. elongatus* (Serrano, 1979). Cronoestratigráficamente se sitúa en el Messinense "superior", probablemente hacia la parte baja, dado el enrollamiento sinistrorso de las *Neogloboquadrina*.

Los ejemplares utilizados para someter a prueba el análisis discriminante se han recolectado de una muestra (SO-8) procedente de la Cuenta de Sorbas, próxima a la de Níjar. Como en la muestra anterior, *Neogloboquadrina* tiene enrollamiento sinis-

trorso y también está presente *G. mediterranea*, pero no *G. elongatus*, lo que inclina a pensar en una edad Messinense "inferior".

Para el tratamiento biométrico se han diferenciado cuatro morfotipos: *N. acostaensis* (Blow), *N. humerosa* (Takayanagi y Saito), *N. incompta* (Cifelli), y *N. pachyderma* (Ehrenberg).

En *N. acostaensis* se han incluido las formas con 4,5-5 cámaras en la vuelta final, ombligo pequeño y abertura en ranura o arco bajo que alcanza las proximidades de la periferia.

*N. humerosa* incluye a las formas con 5 ó más cámaras en la última vuelta de espira, ombligo amplio y abertura en arco bajo que se extiende hasta la periferia.

Como *N. incompta* hemos incluido a las formas que tienen 4-4,5 cámaras en la última vuelta y abertura en arco más alto y más restringida que en las formas anteriores.

Finalmente, hemos incluido en *N. pachyderma* los ejemplares que presentan alrededor de cuatro cámaras en la vuelta final y abertura en ranura o arco bajo y que no llega a la periferia.

No se han hecho diferenciaciones en función del labio de la abertura, aunque, en general, en los ejemplares de *N. incompta* está menos desarrollado que en el resto. Tampoco se ha puesto especial énfasis en el tamaño de las formas, pero se advierte que los ejemplares mayores pertenecen a *N. humerosa*, mientras que los más pequeños suelen ser *N. pachyderma*.

Análogamente a lo que ocurre en las muestras del Serravallense, los cuatro morfotipos del Messinense están relacionados por toda suerte de formas intermedias.

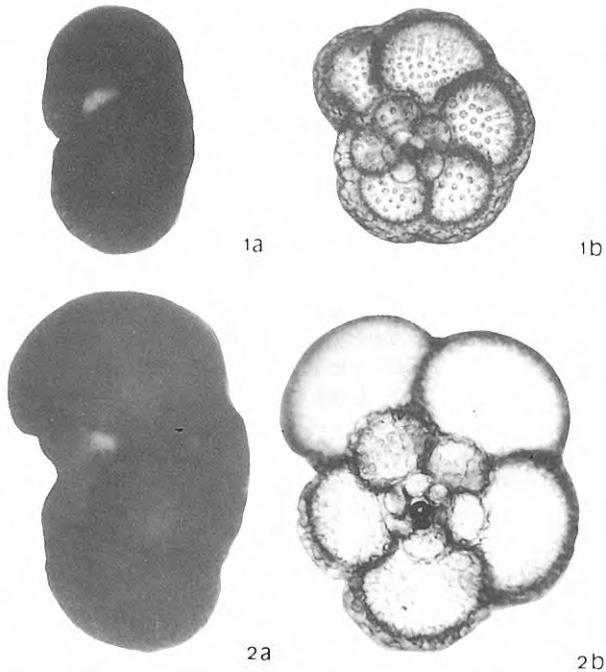
En la literatura micropaleontológica, descritos como *Globigerina*, *Globorotalia* o *Turborotalia*, existen numerosos morfotipos del Mioceno superior asignables a *Neogloboquadrina*, pero la mayoría son indistinguibles de los aquí considerados o presentan diferencias mínima.

## MÉTODOS

Las variables utilizadas en el estudio biométrico se han calculado a partir de coordenadas medidas sobre las vistas espiral y axial. Para obtener las correspondientes a la vista espiral, es necesario observar bien toda la concha, incluida la parte inicial. Por tal motivo se seleccionaron muestras con organismos bien conservados, huecos, que se sometieron a un proceso de fluorización, ácido fluorhídrico al 5% (Grayson, 1956) y, posteriormente, se incluyeron en aceite de inmersión; así, al cabo de unas 24 horas, el aceite ocupa todo el interior de la concha y ésta se vuelve transparente en luz transmitida, pudiendo observarse el proloculus y las primeras cámaras (Fig. 1b).

Por el contrario, para obtener la silueta en vista axial se buscó potenciar al máximo el contraste entre el organismo y el fondo. A tal fin, los organismos se fotografiaron previamente a su inmersión en aceite (Fig. 1a).





**Figura 1.** Ejemplares fluoritizados de *J. siakensis* (1) y *N. humerosa* (2). a: vista axial, luz transmitida; b: vista espiral, luz transmitida, aceite de inmersión.

Para estudiar la forma del perfil axial se optó por el análisis de Fourier, según es descrito por Ehrlich y Weinberg (1970). Para ello, se tomaron, sobre la fotografía en vista axial de cada individuo, las coordenadas cartesianas de unos 200 puntos distribuidos por la periferia, utilizando para ello una placa digitalizadora conectada a un ordenador. Para obtener resultados comparables, los perfiles se orientaron según una línea vertical que discurre entre los dos puntos de contacto de las cámaras de la última vuelta con la espira precedente. A partir de las coordenadas así obtenidas, y mediante un programa escrito en lenguaje GWBASIC, se procedió a calcular el centroide de la figura, a transformar las coordenadas cartesianas en polares ( $R(\Theta), \Theta$ ), calcular el radio medio ( $R_m$ ) y los términos  $A_n$  y  $B_n$  de la ecuación (en Ehrlich y Weinberg, 1970):

$$R(\Theta) = \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\Theta) + B_n \sin(n\Theta)] + R_m$$

Los términos  $A_n$  y  $B_n$  sirven para calcular la amplitud ( $R_n$ ) y el ángulo de fase ( $\phi_n$ ) de los sucesivos armónicos, mediante las ecuaciones:

$$R_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$\phi_n = \arctg(B_n/A_n)$$

La amplitud armónica representa la contribución del armónico a la forma del contorno analizado y el ángulo de fase indica su orientación.

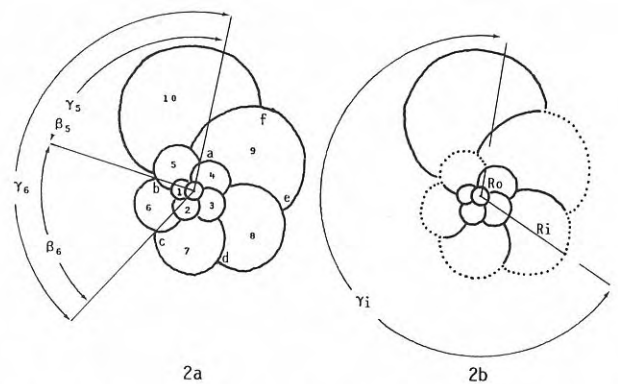
Utilizar las amplitudes de los armónicos como variables morfométricas es práctica común en los trabajos que emplean el análisis de Fourier, pero usar los ángulos de fase presenta problemas insalva-

bles. Así, por ejemplo, si el segundo armónico está orientado, en tres figuras, a  $1^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $179^\circ$ , los dos primeros valores son numéricamente más próximos, cuando en realidad el primero y el tercero prácticamente coinciden. En este trabajo, para no perder información, y tras una serie de pruebas preliminares, se optó por utilizar los términos  $A_n$  y  $B_n$  como variables morfométricas. Por otra parte, dado que se comprobó que con los cinco primeros armónicos se reproduce la morfología general del perfil, se decidió no utilizar más armónicos, para no ampliar excesivamente el número de variables.

Las fotografías en vista espiral sirvieron para analizar aspectos del crecimiento de la espira y de las cámaras.

Utilizando de nuevo la placa digitalizadora, se tomaron, en cada ejemplar, dos series de coordenadas cartesianas. La primera serie incluye las coordenadas del centro del proloculus y las de los puntos a, b, c... n, (Fig. 2a) que corresponden a los lugares más externos de las suturas intercamerales, comenzando arbitrariamente, por la quinta cámara sin contar el proloculus (con objeto de partir de una cámara de tamaño apreciable y equivalente en todos los ejemplares estudiados). A partir de estos datos se calcularon, por el teorema de coseno y mediante un programa escrito en lenguaje GWBASIC, los ángulos ( $\beta$ ) que abarcan las distintas cámaras, los ángulos acumulativos ( $\gamma$ ) de las mismas y, por último, la pendiente (P) de la función potencial de la línea de regresión del número de la cámara frente a su ángulo acumulativo:

$$\gamma_i^2 = \beta_i^2(i-4)^P$$



**Figura 2.** Variables medidas en vista espiral (explicación en el texto).

Obviamente, si  $P = 1$  los ángulos de las cámaras permanecen constantes a lo largo de la ontogenia; si  $P > 1$ , los ángulos crecen durante la ontogenia y, en consecuencia, el número de cámaras por vuelta de espira disminuye; si  $P < 1$ , los ángulos disminuyen durante la ontogenia y el número de cámaras por vuelta de espira aumenta.

La segunda serie (Fig. 2b) incluye de nuevo las coordenadas del proloculus y las de una serie de puntos situados a lo largo de la espira que describen los contornos exteriores de las sucesivas cámaras.

		$\beta'_5$	P	$R'_0(x200)$	E	NC
Siakensis	$\bar{x}$	77.68	0.991	3.360	2.527	13.24
	$\sigma_x$	11.05	0.064	0.741	0.220	1.20
	C.V.	14.22%	6.46%	22.04%	8.71%	9.06%
Mayeri	$\bar{x}$	73.70	1.028	3.161	2.610	13.30
	$\sigma_x$	12.60	0.072	0.696	0.233	1.56
	C.V.	17.10%	7.02%	22.03%	8.93%	11.72%
Continuosa	$\bar{x}$	74.69	1.019	3.018	2.700	12.23
	$\sigma_x$	8.74	0.063	0.649	0.218	1.54
	C.V.	11.70%	6.19%	21.49%	8.08%	12.56%
Cont.-Pachyd.	$\bar{x}$	69.25	1.072	2.991	2.630	12.25
	$\sigma_x$	5.23	0.043	0.658	0.244	1.04
	C.V.	7.55%	3.99%	22.01%	9.29%	8.45%
Acostaensis	$\bar{x}$	80.56	0.988	4.186	2.278	13.11
	$\sigma_x$	13.35	0.071	0.625	0.214	0.83
	C.V.	16.57%	7.19%	14.92%	9.41%	6.35%
Humerosa	$\bar{x}$	77.13	0.995	3.906	2.397	14.06
	$\sigma_x$	12.32	9.066	0.416	0.138	1.00
	C.V.	15.98%	6.64%	10.65%	5.75%	7.09%
Pachyderma	$\bar{x}$	78.71	1.012	3.952	2.434	12.29
	$\sigma_x$	11.53	0.068	0.824	0.260	1.27
	C.V.	14.64%	6.76%	21.29%	10.68%	10.34%
Incompta	$\bar{x}$	78.25	1.001	3.931	2.515	12.10
	$\sigma_x$	9.37	0.062	0.570	0.183	1.07
	C.V.	11.98%	6.22%	14.51%	6.29%	8.85%

Tabla 1. Valores de la media, la desviación típica y el coeficiente de variación de las variables medidas en vista espiral.

ras, también a partir de la quinta. Con estos datos se calculan las distancias desde el centro del proloculus hasta cada uno de los distintos puntos periféricos:  $R_0$  (distancia del proloculus al punto a),  $R_1$  (ídem al segundo punto) etc. y los ángulos formados

por la línea que va del proloculus al punto a, con las que van del proloculus a cada punto de la periferia. Estas distancias y ángulos se emplean entonces para calcular la distancia media ( $\bar{R}$ ) del proloculus a la periferia de cada una de las cámaras. Las distancias

medias y los ángulos acumulativos hasta la mitad de la cámara ( $\epsilon$ ) se utilizan para calcular el radio teórico inicial ( $R_0^i$ ) y la expansión (E) de la espiral descrita por las cámaras en la función exponencial:

$$\bar{R}_i = R_0^i E^{\epsilon_i / 360^\circ}$$

siendo  $\epsilon_i = \gamma_i - \beta_i / 2$

Para estimar el crecimiento de la espiral y de las cámaras en cada individuo se utilizaron los parámetros  $\beta_s^i$ , P,  $R_0^i$  y E, a los que se añadió el número total de cámaras de la concha, excluido el proloculus (NC). Estos valores, junto con los términos  $A_n$  y  $B_n$  de los cinco primeros armónicos del contorno

axial, se utilizaron para realizar los análisis que a continuación se citan.

En primer lugar se efectuó un estudio de las variables medidas en la vista espiral, con objeto de estimar si alguna de ellas, individualmente, permite separar las muestras o los morfotipos distinguidos.

A continuación, para poner de manifiesto la estructura multivariante del conjunto de ejemplares estudiados, sin considerar la pertenencia de los mismos a diferentes grupos, se recurrió a un análisis en modo Q, mediante el método de las coordenadas principales de Gower (Reyment *et al.*, 1984), utilizándose a tal fin un programa en lenguaje FORTRAN, cedido por el Prof. Reyment de la Universi-

	SIAKENSIS	MAYERI	CONTINUOSA	CONT.-PACH.	ACOSTAENSIS	HUMEROSA	PACHYDERMA
INCOMPTA	--- --- $R_0^i$ (40) --- NC (40)	--- --- $R_0^i$ (50) --- NC (40)	--- --- $R_0^i$ (60) E (40) ---	$\beta_s^i$ (50) P (60) $R_0^i$ (80) ---	--- --- --- NC (40)	--- --- E (30) NC (70)	--- --- ---
PACHYDERMA	--- --- $R_0^i$ (30) --- NC (40)	--- --- $R_0^i$ (40) E (30) NC (30)	--- --- $R_0^i$ (50) E (50) ---	$\beta_s^i$ (40) P (40) $R_0^i$ (50) --- ---	--- --- --- E (30) NC (30)	--- --- --- ---	---
HUMEROSA	--- --- $R_0^i$ (40) E (30) NC (30)	--- --- $R_0^i$ (50) E (50) ---	--- --- $R_0^i$ (60) E (70) NC (60)	$\beta_s^i$ (30) P (50) $R_0^i$ (70) E (50) NC (70)	--- --- --- NC (40)		
ACOSTAENSIS	--- --- $R_0^i$ (50) E (50) ---	--- --- $R_0^i$ (60) E (60) ---	--- --- $R_0^i$ (70) E (70) ---	$\beta_s^i$ (40) P (50) $R_0^i$ (70) E (60) NC (40)			
CONT.-PACH.	$\beta_s^i$ (30) P (60) --- --- NC (40)	--- --- --- --- NC (30)	---	P (40) --- --- ---			
CONTINUOSA	--- --- --- E (40) NC (30)	--- --- --- ---					
MAYERI	--- --- --- ---						

Tabla 2. Variables para las que se aprecian diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar las parejas de morfotipos mediante el test de la  $t$  de Student, con expresión del porcentaje (número entre paréntesis) de identificaciones correctas que permiten la variable, según el coeficiente  $k$  de Lubischew.

dad de Uppsala (dado que dicho programa está dimensionado para un máximo de 120 observaciones, nos vimos obligados a reducir el número de individuos en este análisis).

Acto seguido, y para proceder a la separación de los grupos reconocidos, se aplicó un análisis discriminante por etapas, por medio del programa *step-wise discriminant analysis* del paquete informático S.P.S.S. (Nie *et al.*, 1975).

Por último, para comprobar la fiabilidad de las funciones de identificación construidas mediante el análisis discriminante, se utilizaron ejemplares de otras dos muestras, como se citó en el apartado "Materiales estudiados".

## RESULTADOS

### Resultados del análisis de las variables medidas en vista espiral

En primer lugar se calcularon, para cada morfotipo, los valores de la media y la desviación de cada una de las variables medidas en vista espiral (Tabla 1). Dichos valores fueron comparados, en las distintas parejas posibles de morfotipos, mediante el test de la *t* de Student, con objeto de estimar en qué casos se aprecian diferencias significativas entre las medias.

En aquellos casos en los que las medias resultaron ser significativamente diferentes, se estimó, mediante el coeficiente K de Lubischew (Sneath y Sokal, 1973) el porcentaje de asignaciones, a uno u otro miembro de la pareja, que podrían obtenerse mediante la variable en cuestión (Tabla 2).

Como se pone de manifiesto en la Tabla 2, tomando el nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ), ninguna de las variables, aisladamente, permite distinguir los morfotipos en el seno de las parejas. Sin embargo conviene hacer notar que cuando se confronta un morfotipo con los de distinta edad, el número de variables con medias significativamente diferentes es mayor que cuando se coteja un morfotipo con los de su misma edad.

### Resultados del análisis en modo Q

La estructura multivariante del conjunto de ejemplares estudiados revela una separación relativamente neta entre los individuos de ambas muestras, separación que se evidencia sobre todo en el plano que contiene los vectores I y III. Como puede observarse en la Fig. 3, aunque existe una franja de superposición, los ejemplares del Serravallense tienden a ocupar una región del plano distinta de la cubierta por los ejemplares del Messinense.

Cuando se comparan morfotipos por parejas, en lugar de todos conjuntamente, se revelan con más claridad ciertas peculiaridades. Así, los morfotipos de diferente edad se solapan poco o nada, aunque sus morfologías parezcan visualmente próximas (Fig. 4a, *humerosa* y *siakensis*; Fig. 4b, *pachyderma* y *pachyderma-continuosas*). Por el contrario, los morfotipos de la misma edad presentan un solapamiento generalmente mayor, llegando a ocupar el mismo espacio las formas que se estimaron, visualmente,

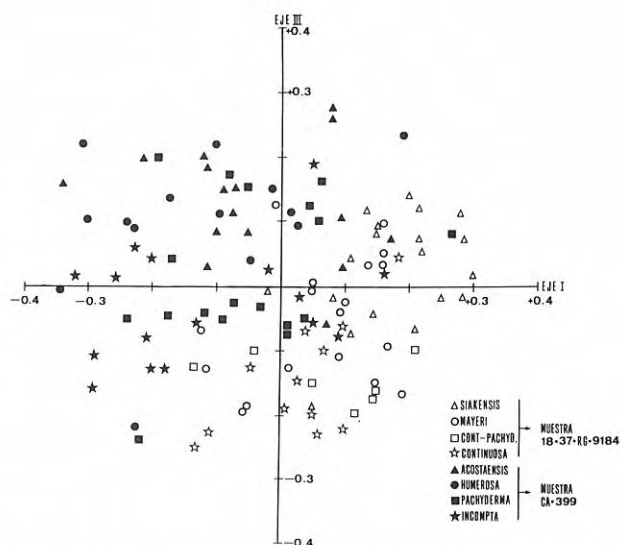


Figura 3. Análisis de coordenadas principales en modo Q. Distribución de los ejemplares en el diagrama de los vectores I y III.

más semejantes (Fig. 4c, *continuosas-pachyderma* y *continuosas*; Fig. 4d, *acostaensis* y *humerosa*); en cambio, el solapamiento es en general pequeño entre morfotipos más netamente diferentes (Fig. 4e, *continuosas-pachyderma* y *siakensis*; Fig. 4f, *humerosa* e *incompta*).

Se construyeron 7 funciones discriminantes canónicas, con objeto de obtener la mejor separación posible de los grupos analizados; de ellas se representan las dos primeras en la Fig. 5. La importancia relativa de cada variable se manifiesta en la magnitud, en valor absoluto, de su factor de carga en las funciones discriminantes canónicas para datos tipificados (Tabla 3). Así por ejemplo, para la primera función, las variables de mayor peso, relacionadas todas ellas con el crecimiento de la concha, son  $R_0$ , NC y  $\beta_3$  (por orden de importancia decreciente), mientras que para la segunda función las variables de mayor peso son NC y diferentes términos  $A_n$  y  $B_n$  de los armónicos del perfil axial.

Empleando las funciones discriminantes lineales de Fisher calculadas en el análisis (tabla 4), se consiguió un 74,5 % de individuos reidentificados correctamente en su morfotipo y un 92,2 % de reidentificados en su morfotipo o en otro de la misma edad (Tabla 5).

Como era de esperar, el porcentaje de reidentificaciones correctas varía de unos morfotipos a otros. El porcentaje más bajo se obtuvo con el morfotipo *pachyderma*, con sólo un 57,1 % de los ejemplares correctamente reidentificados (esto es, 12 de los 21 ejemplares considerados), dispersándose el resto en los morfotipos *acostaensis* e *incompta* (3 ejemplares en cada caso, lo que representa un 14,3 % para cada uno), *mayeri* (2 ejemplares, 9,5 % y *siakensis* (1 ejemplar, 4,8 %). Para el resto de los morfotipos se alcanzan valores de reidentificaciones correctas sensiblemente más altos, del orden del 70 % o superiores, obteniéndose el mejor resultado con *mayeri* (17 ejemplares de un total de 20, lo que representa el 85 %).



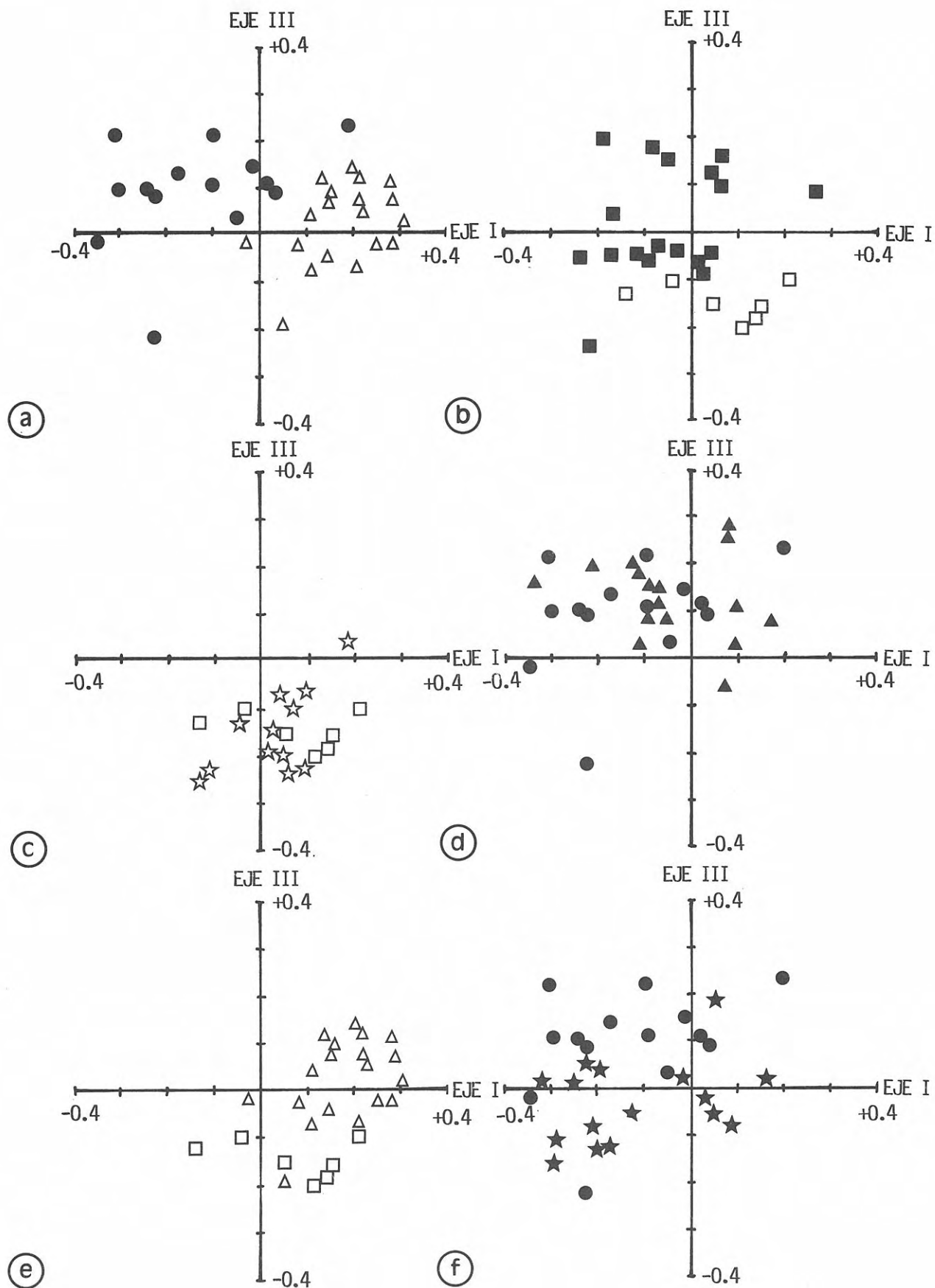


Figura 4. Análisis de coordenadas principales en modo Q. Distribución de parejas de morfotipos en el diagrama de los vectores I y III (mismos símbolos que en la Fig. 3).



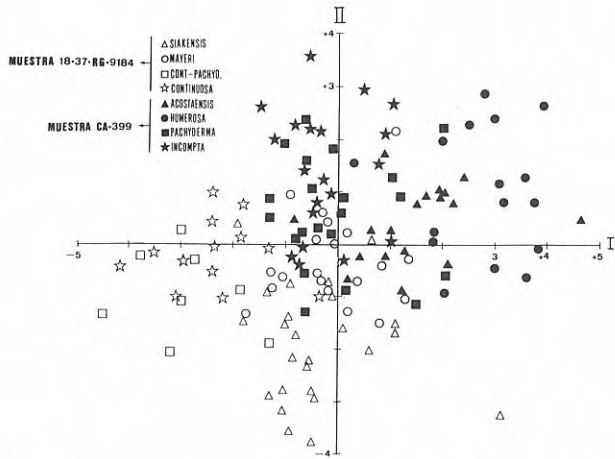


Figura 5. Análisis discriminante. Distribución de los ejemplares en el diagrama de las funciones discriminantes canónicas I y II.

La lectura vertical de la Tabla 5 permite observar cómo se recomponen las agrupaciones tras el análisis discriminante. Se observa una congruencia bastante buena para *humerosa*, pues ahora incluye, exclusivamente, ejemplares que previamente se habían considerado pertenecientes al morfotipo (la nueva agrupación la componen 13 ejemplares de los 16 que se habían incluido al principio). Algo parecido ocurre con *siakensis*, ya que 20 de los 21 ejemplares reidentificados en la agrupación fueron asignados visualmente al morfotipo. La mayor dispersión se observa en *mayeri*, pues recoge ejemplares de todos los morfotipos reconocidos visualmente.

Para someter a prueba las funciones de Fisher, se procedió, como se expuso en el apartado de métodos, a aplicarlas a nuevos conjuntos de ejemplares procedentes de otras dos muestras. En el caso de los individuos del Messinense se consiguió

FUNCIONES DISCRIMINANTES

Variables	I	II	III	IV	V	VI	VII
$\beta_5^1$	1.33011*	0.39620	0.14857	0.85961*	0.39793	1.36851*	0.56758
$P_1$	0.78215	0.20302	-0.10836	1.10106*	0.30252	1.76176*	0.73777
$R_0^1$	1.71531*	0.51063	-0.00838	0.40047	0.51378	-0.23057	0.26117
E	0.56161	0.15792	-0.56025*	0.58352	0.14166	-0.15894	0.10079
NC	1.71096*	0.77628*	-0.13460	0.73755*	-0.08556	-0.22851	0.17605
$A_1$	-0.14176	0.97375*	-0.33167	-0.72002*	-0.02907	0.73378	0.62405
$A_2$	0.39321	-0.71280*	0.33969	0.03696	-0.44669	0.26582	0.15323
$A_3$	0.60026	-0.81368*	0.66453*	0.72244*	-0.41631	0.03647	-0.52375
$A_4$	-0.12518	0.03252	0.38864	-0.35198	-0.46570	-0.17971	0.28039
$A_5$	0.34033	-0.37283	-0.26042	0.42635	-0.20787	-0.19802	0.53530
$B_1$	0.39387	-0.82476*	0.40189	-0.43889	-0.98842*	0.38504	1.64504*
$B_2$	0.10774	-0.15330	0.38896	-0.00396	0.43414	-0.13347	0.80336
$B_3$	0.31742	-0.24385	-0.11627	0.53518	1.01202*	-0.45144	-1.71242*
$B_4$	-0.38028	0.32612	0.26259	0.19460	0.03625	0.13417	-0.18237
$B_5$	-0.31190	-0.14347	0.50544*	0.02635	-0.01291	-0.07939	-0.08168

Tabla 3. Matriz de los factores de carga de las variables para datos tipificados en las funciones discriminantes (con asterisco, variables más importantes en las funciones discriminantes).

	SIAKENSIS	MAYERI	CONTINUOSA	CONT.-PACH.	ACOSTAENSIS	HUMEROSA	PACHYDERMA	INCOMPTA
$\beta_5^1$	26.40484	26.54669	26.09004	26.24494	26.70645	26.88486	26.59460	26.40194
P	4285.879	4317.373	4251.305	4288.117	4313.968	4342.547	4312.686	4280.746
$R_0^1$	268.9652	271.3973	263.7565	262.8135	275.4337	279.0853	272.1078	270.5155
E	583.6176	593.4853	581.1915	579.5497	588.5635	598.5699	587.7211	586.3391
NC	169.8368	171.2374	166.5680	166.3298	172.9703	175.6246	170.7873	169.9095
$A_1$	-1969.033	-1475.104	-1476.726	-1423.656	-1609.788	-1212.765	-1537.691	-1255.702
$A_2$	-146.6618	-101.6661	-102.3841	-83.40209	-33.51747	-86.37388	-66.43250	-86.85665
$A_3$	718.1366	801.0174	767.8790	792.9837	902.3633	810.5337	844.9090	759.3843
$A_4$	-597.6995	-711.4444	-618.8777	-601.5476	-597.2416	-701.6710	-667.5056	-628.2184
$A_5$	827.5348	1027.270	912.6599	922.0654	1012.782	1019.392	970.8169	949.7092
$B_1$	-7126.868	6960.624	-6911.411	-6712.992	-6497.752	-6848.766	-6774.463	-6682.610
$B_2$	258.8170	257.5875	245.6926	254.4093	289.1021	247.4056	278.6980	263.8581
$B_3$	2566.686	2641.750	2603.395	2540.531	2624.588	2640.322	2658.763	2582.483
$B_4$	13.47430	-77.22449	-48.86930	-16.21888	-113.5555	-138.9079	-91.26534	-124.5445
$B_5$	-3813.196	-3894.494	-3791.320	-3756.478	-3828.862	-4008.487	-3836.907	-3896.959
Const.	-5509.801	-5596.406	-5376.809	-5410.803	-5617.645	-5751.643	-5568.569	-5508.626

Tabla 4. Coeficientes de las variables en las funciones discriminantes lineales de Fisher para los morfotipos.

MORFOTIPO (Nº DE EJEMPLARES)	REIDENTIFICACION DE LOS EJEMPLARES DE ACUERDO CON LAS FUNCIONES DE FISHER							
	SIAKENSIS	MAYERI	CONTINUOSA	CONT.-PACH.	ACOSTAENSIS	HUMEROSA	PACHYDERMA	INCOMPTA
MUESTRA 18-37 RG-9184								
SIAKENSIS (25)	20 80%	1 4%	2 8%	1 4%	---	---	---	1 4%
MAYERI (20)	---	17 85%	2 10%	---	---	---	---	1 5%
CONTINUOSA (13)	---	1 7,7%	9 69,2%	2 15,4%	---	---	---	1 7,7%
CONT.-PACH. (8)	---	1 12,5%	1 12,5%	6 75%	---	---	---	---
MUESTRA CAL-399								
ACOSTAENSIS (18)	---	1 5,6%	---	---	14 77,8%	---	3 16,7%	---
HUMEROSA (16)	---	1 6,3%	---	---	1 6,3%	13 81,3%	---	1 6,3%
PACHYDERMA (21)	1 4,8%	2 9,5%	---	---	3 14,3%	---	12 57,1%	3 14,3%
INCOMPTA (20)	---	3 15%	---	---	1 5%	---	2 10%	14 70%

Nº total de ejemplares asignados correctamente a su morfotipo: 105 (74,5%)

Nº total de ejemplares asignados correctamente a su morfotipo o a otro de su muestra: 130 (92,2%)

**Tabla 5.** Reidentificaciones de los ejemplares de las muestras 18-37-RG-9184 y CAL-399, en valores absolutos y porcentuales.

MORFOTIPO (Nº DE EJEMPLARES)	REIDENTIFICACION DE LOS EJEMPLARES DE ACUERDO CON LAS FUNCIONES DE FISHER							
	SIAKENSIS	MAYERI	CONTINUOSA	CONT.-PACH.	ACOSTAENSIS	HUMEROSA	PACHYDERMA	INCOMPTA
MUESTRA 16-40 DR-9116								
SIAKENSIS (8)	3 37,5%	4 50%	1 12,5%	---	---	---	---	---
MAYERI (6)	2 33,3%	3 50%	---	---	---	---	---	1 16,7%
CONTINUOSA (6)	---	---	3 50%	2 33,3%	---	---	---	1 16,7%
CONT.-PACH. (7)	---	---	---	5 71,4%	1 14,3%	---	1 14,3%	---
MUESTRA SO-8								
ACOSTAENSIS (8)	---	1 12,5%	---	---	6 75%	---	1 12,5%	---
HUMEROSA (7)	---	---	---	---	1 14,3%	6 85,7%	---	---
PACHYDERMA (5)	---	---	---	---	1 20%	---	4 80%	---
INCOMPTA (6)	---	---	---	1 16,7%	---	2 33,3%	---	3 50%

Nº de ejemplares del Mioceno medio asignados correctamente a su morfotipo: 14 (51,9%)

Nº de ejemplares del Mioceno medio asignados correctamente a su morfotipo o a otro de su muestra: 23 (85,2%)

Nº de ejemplares del Mioceno superior asignados correctamente a su morfotipo: 19 (73,1%)

Nº de ejemplares del Mioceno superior asignados correctamente a su morfotipo o a otro de su muestra: 24 (92,3%)

**Tabla 6.** Reidentificaciones de los ejemplares de las muestras 16-40-DR-9116 y SO-8, en valores absolutos y porcentuales, mediante las funciones discriminantes lineales de Fisher construidas con las muestras de la Tabla 5.

un 73 % de individuos reidentificados correctamente en su morfotipo y un 92 % de asignados a su morfotipo o a otro de la misma edad, resultados similares a los obtenidos en la redeterminación de los individuos utilizados para elaborar las funciones discriminantes. En el caso de los individuos del Serravallense, los resultados fueron algo menos buenos [51,8 % a su morfotipo, lo que se debe, en buena parte, a la dificultad citada de separar visualmente los morfotipos *mayeri* y *siakensis* en esta muestra] y 85,2 % a su morfotipo o a otro de la misma edad (ver Tabla 6).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En función de lo expuesto parece obvio que, con las variables utilizadas, los dos conjuntos de turborotálidos, serravallenses y messinenses, no sólo son diferenciables por medio de análisis discriminante, en un porcentaje muy considerable, sino que están bastante separados de por sí, como muestra el análisis en modo Q. Incluso es presumible que la separación habría mejorado si a las variables utilizadas en los análisis numéricos se hubieran podido añadir todas las características que sirvieron para diferenciar visualmente los morfotipos, en el caso de que tales características hubieran podido ser adecuadamente cuantificadas. Por ejemplo, es de suponer que los morfotipos *continua* y *mayeri* habrían tendido a separarse mejor de las formas del Messinense, gracias a las peculiaridades de sus aberturas.

Sin embargo, sospechamos que si se hubiera intentado identificar los ejemplares *de visu*, a partir de una mezcla de las dos muestras, los porcentajes de determinaciones acertadas habrían resultado más bajos, a causa de las posibilidades de confusión, en especial de *siakensis* con *humerosa* y *acostaensis* y de *continua-pachyderma* con *pachyderma*.

En resumen, y con las reservas obvias debidas al pequeño número de muestras estudiadas, puede concluirse que, aunque visualmente exista un homomorfismo entre morfotipos del Serravallense y del Messinense, que puede dar lugar a errores de identificación y, como consecuencia, a errores bioestratigráficos, se puede conseguir su separación con una metodología biométrica. El procedimiento aquí seguido puede ser válido cuando se presentan incertidumbres sobre la identificación de los turborotálidos de una muestra, aunque las limitaciones sean obvias: nuestra metodología, aparte de consumir bastante más tiempo que el análisis visual, sólo puede aplicarse a muestras con organismos huecos, muy bien conservados.

Atendiendo, a continuación, al caso de morfotipos procedentes de una misma muestra, hay que recordar que nuestro estudio se ha realizado sobre ejemplares típicos, eliminando los que mostraban características intermedias entre dos o más morfotipos. De acuerdo con esto, si los caracteres utilizados en la separación visual estuvieran estrictamente correlacionados con los usados en el estudio biométrico, sería de esperar que los morfotipos hubieran queda-

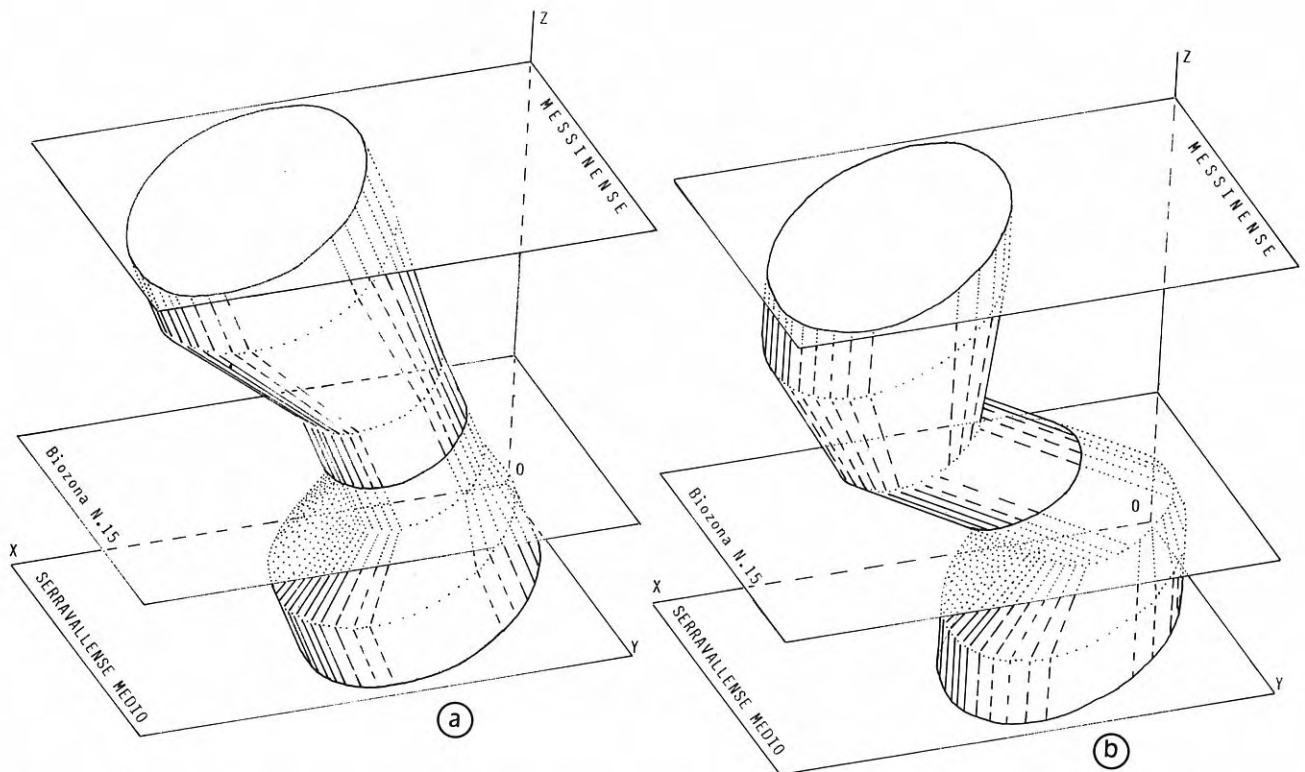


Figura 6. Dos de los posibles esquemas de las relaciones entre la variabilidad biométrica global (OX) y variabilidad del número de cámaras en la última vuelta de espira (OY) a lo largo del tiempo (OZ) (explicación en el texto).



do bien separados en el caso de análisis en modo Q y que la discriminación hubiera sido más alta. Al no ocurrir esto, hay que concluir que los dos conjuntos de caracteres, visuales y biométricos, tienen una cierta independencia.

Por otra parte, estos hechos también apuntan hacia la idea de que, en cada muestra, los distintos morfotipos separados debieron formar parte, en realidad, de una única especie biológica, idea que, por supuesto, es también sugerida por el hecho de que se aprecien numerosas formas visualmente intermedias en las mismas muestras. Así pues, los morfotipos parecen ser simples variantes morfológicas en el seno de un amplio espectro de variación, aunque algunos tengan distribuciones estratigráficas peculiares o puedan ser indicadores de determinadas características medioambientales o paleobiogeográficas, razón por la cual nos manifestamos partidarios de conservar la diferenciación de los morfotipos.

Si es cierto lo hasta ahora expuesto, la separación de *Jenkinsella* y *Neogloboquadrina*, por motivos filogenéticos, no parece tener ningún sentido y el primero sería un sinónimo posterior del segundo; en efecto *N. continuosa*, reputada por numerosos autores como la forma ancestral de todas las *Neogloboquadrina*, no parece ser otra cosa que una variante morfológica en el seno de las poblaciones de "*Jenkinsella*" del Serravallense y no una especie separada.

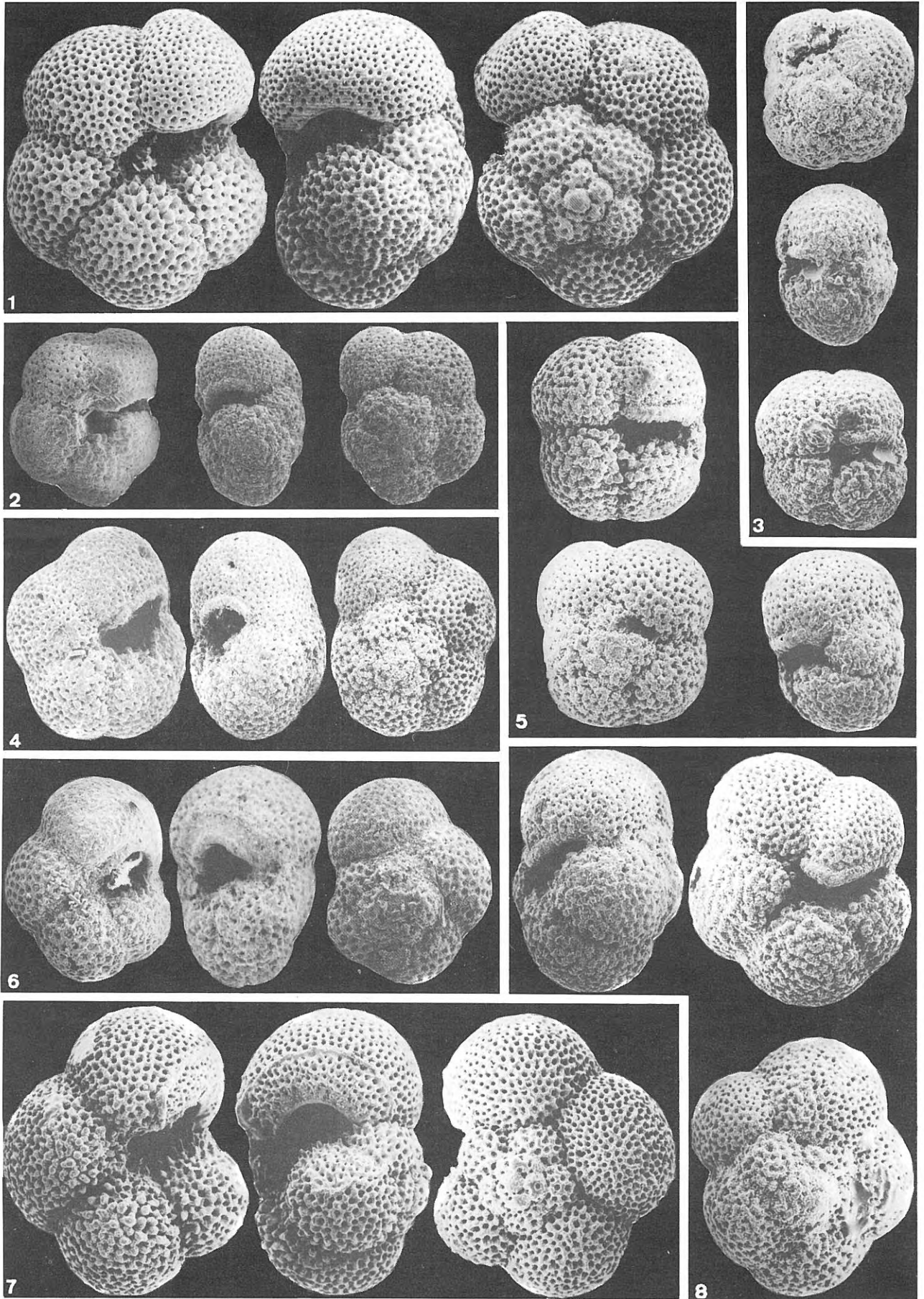
Habría que imaginar (haciendo abstracción de

posibles —y casi seguras— complicaciones geográficas de tipo subespecífico o clinal) una línea evolutiva que experimentaría, en el tiempo, una variación biométrica global, continua o intermitente (no tenemos argumentos para inclinarnos por una u otra posibilidad). Durante la Biozona N.15 se reduciría la variabilidad del número de cámaras en la última vuelta de espira, al desaparecer los morfotipos con mayor número de las mismas. A lo largo del Tortonense y del Messinense reaparecería, paulatinamente, una variabilidad de este carácter similar a la que existía durante la Biozona N.14.

En la Fig. 6 se representan dos de los posibles esquemas sobre las relaciones, a lo largo del tiempo, entre la variabilidad biométrica global y la variabilidad del número de cámaras en la última vuelta de espira. En uno (6a) se representa un cambio continuo de la variabilidad biométrica global; para simplificar el dibujo se ha supuesto que el cambio tiene lugar según el modelo del gradualismo filético (lo cual no debe interpretarse en el sentido de que aceptemos como probable un cambio sostenido a velocidad constante). En el otro (6b) se ha supuesto que la variabilidad biométrica global cambia durante un corto intervalo de tiempo, la Biozona N.15 y permanece estática durante el resto del tiempo (gradualismo intermitente). En ambos casos se ha representado el aumento del número de cámaras como si se tratase de un fenómeno desarrollado a velocidad constante.

- 
- Lámina I.**
1. *Neogloboquadrina humerosa* (Takayanagi y Saito), ejemplar H-25, muestra CAL-399, Messinense.
  2. *Neogloboquadrina siakensis* (Le Roy), ejemplar Sk-19, muestra RG-9184, Serravallense.
  3. *Neogloboquadrina continuosa-pachyderma*, ejemplar CP-6, muestra RG-9184, Serravallense.
  4. *Neogloboquadrina mayeri* (Cushman y Ellis), ejemplar My-14, muestra RG-9184, Serravallense.
  5. *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), ejemplar P-50, muestra CAL-399, Messinense.
  6. *Neogloboquadrina continuosa* (Blow), ejemplar C-51, muestra RG-9184, Serravallense.
  7. *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli), ejemplar I-50, muestra CAL-399, Messinense.
  8. *Neogloboquadrina acostaensis* (Blow), ejemplar AC-56, muestra CAL-399, Messinense.
- (Todos los ejemplares × 140).

Lámina I



## BIBLIOGRAFÍA

- Bandy, O. L. 1972. Origin and development of *Globorotalia* (*Turborotalia*) *pachyderma* (Ehrenberg). *Micropaleontology*, **18**, 294-318.
- Blow, W. H. 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In: *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*. Geneva, 1967 (Eds. P. Brönnimann y H. H. Renz). E. J. Brill, Leiden, 199-422.
- Ehrlich, R. y Weinberg, B. 1970. An exact method for characterization of grain shape. *Journal of Sedimentary Petrology*, **40**, 205-212.
- González Donoso, J. M.; Linares, D. y Serrano, F. 1986. Algunas consideraciones sobre la taxonomía, ritmos evolutivos y modelos de especiación en los foraminíferos planctónicos. *Revista Española de Paleontología*, **1**, 47-62.
- Grayson, J. F. 1956. The conversion of calcite to fluorite. *Micropaleontology*, **2**, 71-78.
- Kennett, J. P. y Srinivasan, M. S. 1983. *Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas*. Hutchison Ross Publ. Co., Stroudsburg, 263 pp.
- Mazza, P. 1985. On the occurrence of *Neogloboquadrina acostaensis* in Upper Serravallian sediments of Sicily. *Revista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **91**, 513-518.
- Nie, N. H.; Hadlai Hull, C.; Jenkins, J. G.; Steinbrenner, K. y Bent, D. H. 1975. *Statistical Package for the Social Sciences*. Mc Graw-Hill, Nueva York, 675 pp.
- Reyment, R. A.; Balckith, R. E. y Campbell, N. A. 1984. *Multivariate Morphometrics*. Academic Press, Londres, 233 pp.
- Serrano, F. 1979. *Los foraminíferos planctónicos del Mioceno superior de la cuenca de Ronda y su comparación con los de otras áreas de las Cordilleras Béticas*. Publicaciones de la Universidad de Málaga, 272 pp.
- Sneath, P. H. A. y Sokal, R. R. 1973. *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman & Co., San Francisco, 573 pp.
- Stainforth, R. M.; Lamb, J. C.; Luterbacher, H.; Beard, J. H. y Jeffords, R. M. 1975. Cenozoic planktonic foraminiferal zonation and characteristics of index forms. *University of Kansas Paleontological Contributions*, **62**, 425 pp.

*Manuscrito recibido:* 16 de diciembre, 1988

*Manuscrito aceptado:* 25 de abril, 1989