

La tendencia mineralógica de las eolianitas del Pleistoceno de Mallorca, mediante la aplicación del método de Chung.

F. CALVET, (1) F. PLANA, (2) y A. TRAVERIA (2)

(1) Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad de Barcelona.

(2) Instituto Jaime Almera, C.S.I.C.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es conocer la evolución diagenética de los minerales carbonatados de las eolianitas del Pleistoceno de Mallorca. Se ha puesto de relieve un control de la composición original y un control climático en la tendencia mineralógica de las eolianitas. Para la determinación cuantitativa se ha utilizado el método de Chung.

SUMMARY

The objective of the present work is to know the diagenetic evolution of the carbonated minerals found in the Pleistocenic eolianites of Mallorca island. The island of Mallorca shows three main areas where Pleistocenic and Recent eolianites are well developed (Fig. 1), which have been named A area (in Palma Bay), B area (in Colonia St. Jordi), and C area (Alcudi Bay). Those three outcrops present relatively different climas (Fig. 2). A and B areas are placed in a zone of a semiarid type of clima whilst area C shows a dry-subhumid clima type. The main eolianite levels studied have been Flandrian (with an age of 2000 to 7000 years), Würm (aprox. 25000 years), Riss (aprox. 300.000 years) and Mindel (aprox. 500.000 years).

The mineralogical evolution of the eolianites during the Pleistocene of Mallorca, that is during the stratigraphic time, is showed schematically in fig. 3 Each eolianite has a determinate diagenetic path according to its original petrological evolution. Figs. 4, 5 and 6 show the different diagenetic paths for the Pleistocenic eolianites of Mallorca in areas A, B and C respectively. Fig. 7 shows the synthesis of the diagenetic trend of those eolianites. Mineralogical changes in the mineralogical trend of the eolianites are caused by a set of diagenetic processes: the elimination of the HMC is due to the transformation HMC-LMC by means of the cryptocrystalline reordering mechanism of the initially HMC fragments. The elimination of the aragonite, is due to the dissolution —formation process of moldic porosity— infilling by LMC spar cement and to the aragonite-LMC neomorphic process.

Taking into account that the number of differentiated phases to be determined is low (three or four), the matrix flushing method was chosen for the treatment of limestones, because the presence of rare phases or amorphous materials, do not influence the

relative proportions of the main constituents to be determinated. Also this method does not need internal standard and it is relatively quick.

After determining the quotients of the intensities of the component-corindon mixtures the K's were obtained using natural materials, since these have more resemblance to the geological samples than the most pure chemical products.

Five preparations were obtained from each one of the samples, adopting the quotient of the average intensities as the value of the standard K.

INTRODUCCIÓN

El objeto de este trabajo es conocer la evolución diagenética de los minerales carbonatados en las eolianitas del Pleistoceno mallorquín.

Diversos autores han puesto de manifiesto la tendencia diagenética de los minerales carbonatados en el medio continental. La gran mayoría de ellos han trabajado en áreas de climas tropicales a subtropicales (Stehli y Hower, 1961; Friedman, 1964; Land, et al. 1967; Ward, 1970, 1975; Winland, 1971; Ristvet, 1971; Bathurst, 1975; etc.). Por el contrario, los trabajos en climas templados son escasos, destacando en el área mediterránea los de Gavish y Friedman (1969), Selim (1974) y Calvet (1979).

Las muestras de eolianitas recientes están formadas mineralógicamente por: aragonito (principalmente moluscos), HMC (High Magnesian Calcite) (algas rodofíceas, foraminíferos porcelanados, equinodermos), LMC (Low Magnesian Calcite) (moluscos, foraminíferos hialinos, litoclastos). Como minerales secundarios están presentes la dolomita (litoclastos) y cuarzo (granos de cuarzo detrítico). La razón de la evolución mineralógica reside en el

hecho de que tanto el aragonito como la HMC son inestables bajo las condiciones de la diagénesis continental, mientras que la LMC es estable.

SITUACIÓN

La isla de Mallorca presenta tres áreas donde las eolianitas recientes-pleistocenas están bien desarrolladas (Fig. 1), y que informalmente denominamos Area A (en la Bahía de Palma), Area B (en la Colonia Sant Jordi) y Area C (en la Badía d'Alcudi).

Las tres áreas presentan climas relativamente distintos (fig. 2). Así las áreas A y B se encuentran en una zona climática de tipo semiárido; con una temperatura media anual de 17 °C a 18 °C y una media anual de precipitación (obtenida a partir de las medias mensuales) que prácticamente no sobrepasa los 450 mm. El área C se encuentra en una zona climática de tipo seco-subhúmedo, con una temperatura media anual de 16 °C a 17 °C y una media anual de precipitación de 741 mm.

La estratigrafía del Pleistoceno mallorquín, y en concreto la de las eolianitas, es bien conocida gracias a los grabajos de Butzer y Cuerda (1962), Cuerda (1975), entre otros. Los principales niveles de eolianitas estudiados han sido: Flandriense (de 2.000 a 7.000 años de edad), Würm (aproximadamente 25.000 años), Riss (aproximadamente 300.000 años) y Miñdel (aproximadamente 500.000 años), así como muestras recientes y del Plioceno-Mioceno superior que sirven de referencia límite.

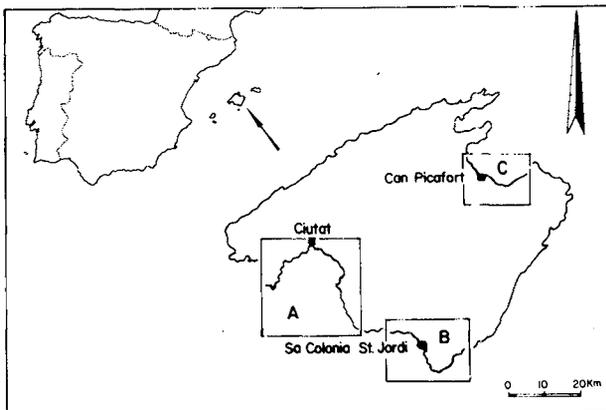


Fig. 1.- Localización de las áreas A, B y C en Mallorca. Las zonas con punteado indican distribución de los campos de dunas pleistocenas.

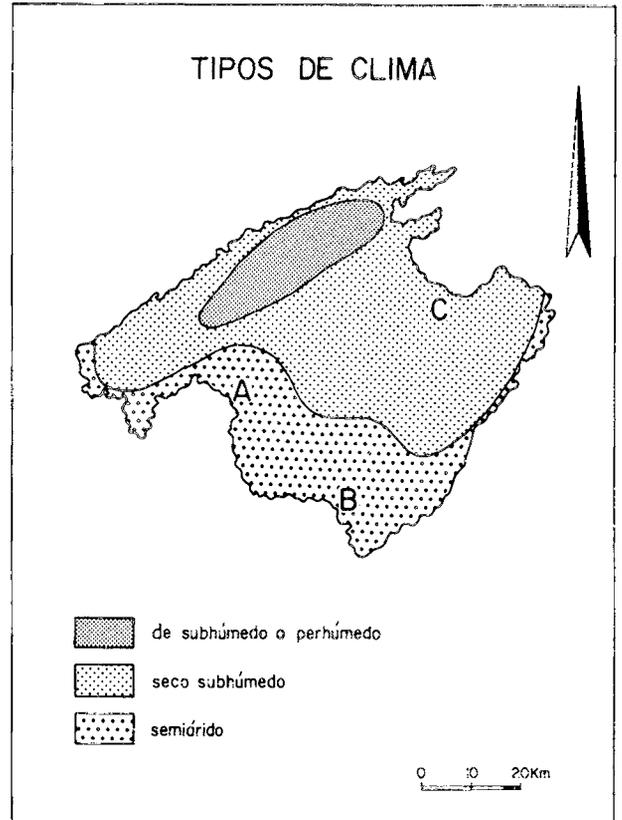


Fig. 2.- Distribución de los tipos de clima en la isla de Mallorca, según Atlas de les Illes Balears, Ed. Diàfora, Barcelona, p. 21, 1979.

MÉTODO ANALÍTICO

Para el desarrollo de su método Chung (1974 a, b) parte de la expresión de Klug y Alexander (1974)

$$\frac{I_i}{I_0} = X_i \frac{\mu_i}{\mu_t}$$

en donde I_i es la intensidad de la línea I del componente i en la mezcla, que se ha tomado como referencia para el compuesto i ; I_0 es la intensidad de la misma línea para el compuesto puro; X_i es la concentración del componente i ; μ_i y μ_t son los coeficientes de absorción máxicos para el componente i y la matriz, respectivamente.

A continuación establece el concepto de «flushing agent» y con la introducción de muestras binarias 50/50, llega a un sistema de n ecuaciones con n incógnitas, cuyas soluciones presentan la siguiente forma

$$X_i = \frac{1}{1 + \frac{k_i}{I_i} \left(\frac{I_2}{k_2} + \frac{I_3}{k_3} + \dots + \frac{I_n}{k_n} \right)}$$

introduciendo k_i como coeficiente entre las intensidades de la muestra binaria formada por el componente i y corindón

$$k_i = \left(\frac{I_i}{I_c} \right) 50/50$$

El método presenta evidentes ventajas:

a) Es rápido, ya que pueden realizarse unas treinta y cinco determinaciones de cuatro componentes en una sesión de cuatro horas.

b) No hace falta la introducción de standard interno, con lo que se evita el riesgo de errores de manipulación y se ahorra tiempo en la preparación de las muestras.

El método exige la cuantificación de todos los componentes de la muestra. Esta es la razón por la cual antes de su aplicación deben conocerse todos los componentes de las muestras objeto de estudio y la posible presencia de alguno extraño; así como la estimación del error introducido en caso de no tenerlo en consideración.

A fin de determinar las k (cociente de intensidades de componente + corindón 50/50) se han utilizado materiales naturales que tienen un mayor parecido con las muestras geológicas que los productos químicos puros.

De cada muestra binaria se montaron 5 preparaciones adoptando como k standard el promedio de los cocientes de las respectivas intensidades.

El fondo de la muestra se consideró constante ya que su variación en la zona del trabajo no es significativa.

La determinación de la calcita magnesiana se obtuvo aplicando el método de Gavish y Friedman (1969).

Se utilizó un aparato Philips PW 1130 provisto de monocromador de grafito y tubo de cobre. El tiempo de contaje para cada línea fue de 40 s.

TENDENCIA MINERALÓGICA Y EDAD ESTRATIGRÁFICA

Se han analizado un total de 47 muestras, que de acuerdo con el nivel estratigráfico a que pertenecen presentan la siguiente composición mineralógica (Tablas 1, 2 y 3).

Flandriense: La composición media de las 12 muestras analizadas es de un 23,8 % de aragonito,

un 38,3 % de HMC y un 37,9 % de LMC. El aragonito varía de un 15,2 % a un 46,2 %. La HMC varía de un 14,6 % a un 47,8 % y la LMC de un 28,5 % a un 66,8 %.

Wurm: La composición media de 13 muestras analizadas es de un 28 % de aragonito (varía desde un 5,1 % a un 50,4 %), de un 13,1 % de HMC (varía, desde no existir, a un 43,4 %) y de un 58,9 % de LMC (varía de un 22,3 % a un 94,9 %).

Riss: Se han realizado 18 análisis. La composición media es de un 4,8 % de aragonito (varía desde un 0 % a un 27,7 %) y de un 95,2 % de LMC (varía de un 72,3 % a un 100 %). La HMC ha sido ya totalmente eliminada.

TABLA I

Area A	Edad	Arag.	HMC	LMC
A4 - 1	Fl.	18,4	42,4	39,1
A4 - 2	Fl.	15,2	46,6	38,2
A11 - 1	Fl.	18,6	14,6	66,8
A6 - 1	W.	10,5	-	89,5
A6 - 4	W.	5,1	-	94,9
A10 - 1	W.	7,4	-	92,6
A1 - 3	Ri.	-	-	100
A3 - 5	Ri.	14,5	-	85,5
A5 - 1	Ri.	4,9	-	95,1
A6 - 10	Ri.	11,7	-	88,3
A9 - 1	Ri.	3,3	-	96,7
A9 - 4	Ri.	1,7	-	98,3
A7 - 18	Mi	-	-	100
A7 - 21	Mi	-	-	100

Flandriense = Fi
Riss = Ri

Wurm = W
Mindel = Mi

TABLA 2

Area B	Edad	Arag.	HMC	LMC
B2 - 4	Fl.	46,2	25,3	28,5
B4 - A1	Fl.	25,8	39,4	34,8
B4 - A7	Fl.	31,0	35,2	22,8
B4 - B6	Fl.	27,8	35,4	36,8
B4 - B7	Fl.	17,6	47,8	34,6
B3 - 1	W.	22,6	13,9	63,5
B3 - 3	W.	43,8	-	56,2
B8 - 4	W.	33,5	-	66,5
B9 - 3	W.	49,3	23,8	26,9
B10 - 8	W.	28,4	-	71,6
B2 - 11	Ri.	6,7	-	93,3
B4 - B4	Ri.	-	-	100
B5 - 4	Ri.	27,7	-	72,3
B6 - 2	Ri.	4,0	-	96
B8 - 1	Ri.	2,1	-	97,9
B11 - 3	Ri.	9,3	-	90,7
B10 - 2	Mi.	-	-	100
B10 - 4	Mi.	-	-	100

TABLA 3

Area C	Edad	Arag.	HMC	LMC
C1 - 2	Fl.	21,4	44,3	34,3
C1 - 3	Fl.	18,6	44,8	36,6
C2 - 1	Fl.	18,3	47,4	34,3
C2 - 2	Fl.	26,3	36,9	36,8
C7 - 3	W.	24,4	34,7	40,9
C7 - 5	W.	26,7	27,1	46,2
C9 - 1	W.	50,4	27,3	22,3
C9 - 3	W.	24,9	43,4	31,5
C3 - 3	Ri.	-	-	100
C4 - 3	Ri.	-	-	100
C4 - 1	Ri.	-	-	100
C4 - 12	Ri.	-	-	100
C5 - 2	Ri.	-	-	100
C8 - 5	Ri.	-	-	100

Mindel: Solamente se han analizado 4 muestras y todas ellas están formadas por un 100 % de LMC. El aragonito ha sido totalmente eliminado.

La evolución mineralógica de las eolianitas durante el Pleistoceno de Mallorca, o sea respecto el tiempo estratigráfico, se muestra esquematizada en la Fig. 3. Esta figura pone de relieve las distintas curvas de estabilización mineralógica durante el Pleistoceno de eolianitas de Mallorca, de las eolianitas del Pleistoceno de Israel (Gavish y Friedman, 1969) y de las eolianitas del Pleistoceno de Bermuda (Ristvet, 1971).

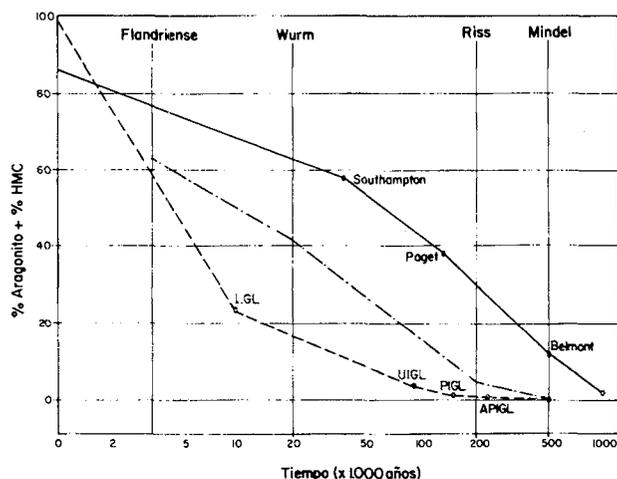


Fig. 3.- Comparación de las curvas de estabilización mineralógica de las eolianitas del Pleistoceno Mallorquin (trazado punto y guión), de las eolianitas del Pleistoceno de Bermuda (Ristvet, 1971, en trazado continuo), y de las eolianitas del Pleistoceno de Israel (Gavish y Friedman, 1969, en trazado discontinuo). El tiempo en escala logarítmica.

TENDENCIA MINERALÓGICA Y ÁREA

Se han realizado diagramas triangulares por cada área estudiada, diferenciando las muestras según su edad estratigráfica, a fin de conocer la tendencia mineralógica en cada área.

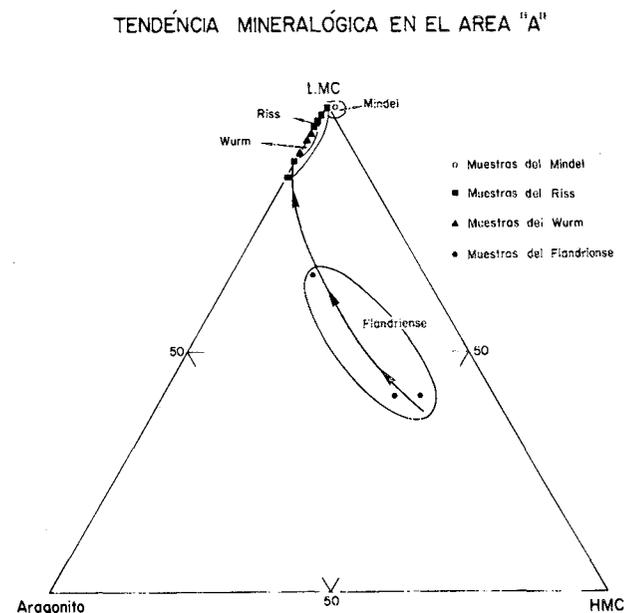
Área A. La evolución mineralógica del área A (Fig. 4) presenta los siguientes caracteres:

- a) Las muestras de edad Würm y alguna de edad Flandriense contienen bajos porcentajes de minerales inestables (aragonito y HMC). Se debe a la gran cantidad de litoclastos de LMC presente en los afloramientos estudiados, produciendo una composición «errática».
- b) Eliminación total de la HMC en las muestras wurmienses.
- c) Presencia de un 6 % de aragonito, como promedio, en las muestras de edad Riss.
- d) Eliminación total del aragonito en los materiales de edad Mindel.

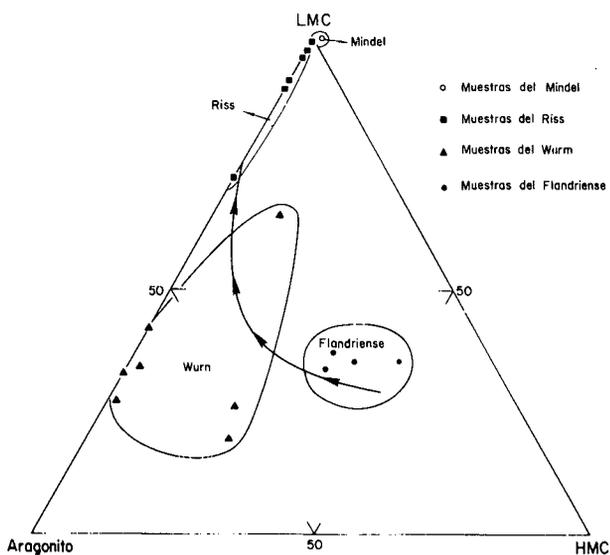
Área B. La evolución mineralógica en el área B (Fig. 5) presenta los siguientes caracteres:

- a) Eliminación parcial de la HMC en las muestras de edad Würm.
- b) Valores relativamente altos del aragonito en las muestras wurmienses, debiéndose al alto porcentaje de oolitos que presentan algunos afloramientos.
- c) Eliminación total de la HMC y parcial (queda un promedio de un 8,3 %) de aragonito en las muestras de edad Riss.
- d) Eliminación total del aragonito en las muestras de edad Mindel.

Área C. La tendencia de la evolución diagenética en el área C (Fig. 6) muestra los caracteres siguientes: a) Valores muy altos de HMC en las muestras wurmienses, atribuyéndose al hecho de que las dunas wurmienses estudiadas de esta área sean de



TENDENCIA MINERALÓGICA EN EL AREA "B"



TENDENCIA MINERALÓGICA EN EL AREA "C"

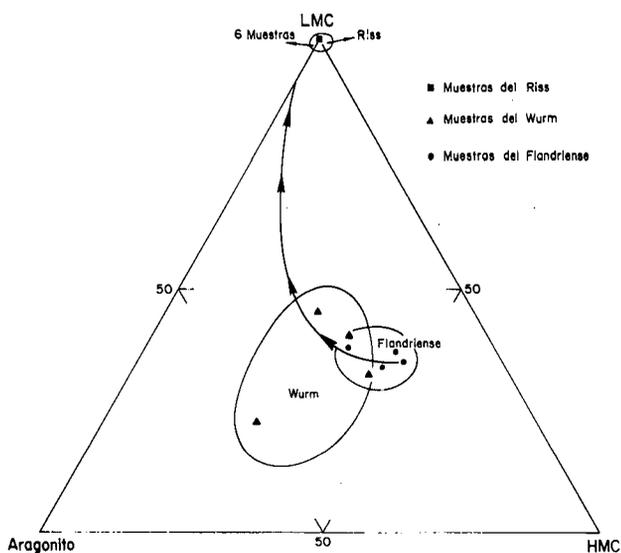


Fig. 4, 5 y 6.— Esquemas de las tendencias mineralógicas respectivas en las áreas A, B y C. Las líneas con flechas indican el camino diagenético de las eolianitas en cada área.

un Würm muy inicial. b) Desaparición total de la HMC y del aragonito en las dunas de edad Riss.

La síntesis de la tendencia diagenética de las eolianitas del Pleistoceno mallorquín se muestra en la Figura 7, y presenta los caracteres siguientes: a) En el medio continental, la HMC es el primer mineral que se vuelve inestable. En los materiales estudiados es eliminada progresivamente entre los

eolianitas flandrienses y las rissenses. b) El aragonito es eliminado progresivamente entre el Flandriense y el Mindel en las áreas A y B, y entre el Flandriense y el Riss en el área C.

TENDENCIA MINERALÓGICA DE LAS EOLIANITAS

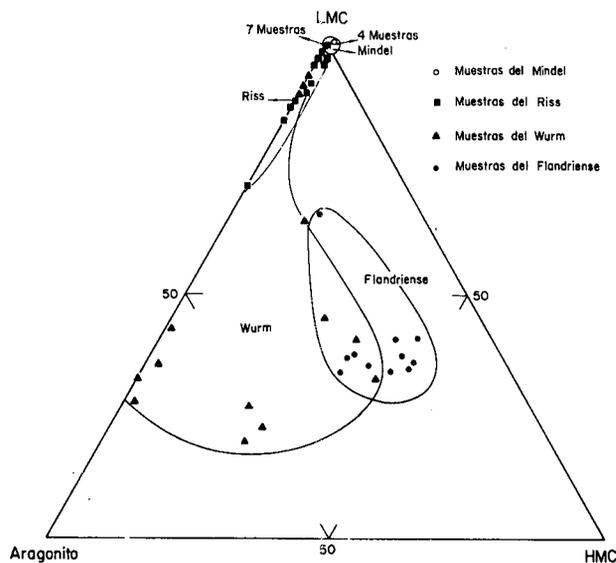


Fig. 7.— Síntesis de la tendencia mineralógica de las eolianitas del Pleistoceno de Mallorca. Se observa que las eolianitas flandrienses están compuestas por tres fases carbonatadas (HMC, aragonito y LMC). Las wurmienses están compuestas principalmente por aragonito y LMC. Las rissenses prácticamente por LMC y las atribuidas al Mindel sólo contienen LMC.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1) Se ha puesto de relieve que la tendencia diagenética de los minerales carbonatados en el medio continental es, de menor a mayor estabilidad, HMC < aragonito < LMC. Estos resultados concuerdan con los trabajos de Stehli y Hower (1961), Gavish y Friedman (1969), Ward (1970, 1975), Winland (1971), Ristvet (1971), y otros.

2) Cada eolianita tiene un determinado camino diagenético de acuerdo con su composición petrológica original. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los distintos caminos diagenéticos de las eolianitas pleistocenas de Mallorca en las áreas A, B y C. Por lo tanto, podemos hablar de un control de la composición inicial.

3) Si comparamos los caminos diagenéticos de las tres áreas estudiadas se observa que en el área C —es el área con una pluviometría más alta— los minerales más inestables (HMC y aragonito) son eliminados más rápidamente que en las áreas A y B, que son las áreas con cotas pluviométricas más

bajas. La estabilización de la tendencia mineralógica de las eolianitas en la forma estable (LMC) se realiza más rápidamente en las áreas de mayor pluviometría que en las de poca pluviometría. Por lo tanto podemos hablar de un control climático en la evolución diagenética de los sedimentos carbonatados en el medio continental.

4) Los cambios mineralógicos de la tendencia mineralógica de las eolianitas responden a un conjunto de procesos diagenéticos.

La eliminación de la HMC es debida a la transformación HMC-LMC mediante el mecanismo de reordenamiento criptocristalino de los fragmentos inicialmente de HMC, principalmente algas rodofíceas y foraminíferos porcelanados.

La eliminación del aragonito se debe a: 1) al proceso de disolución—formación de porosidad móldica—relleno de cemento esparítico de LMC y 2) al proceso neomórfico aragonito-LMC. Ambos procesos afectan principalmente a los fragmentos de moluscos.

5) En los materiales y área estudiada, una arena compuesta por aragonito, HMC y LMC, tarda de 300.000 a 500.000 años de edad para convertirse en una roca, dura, compacta y fósil, compuesta solamente por la forma más estable de la calcita: LMC.

6) El método analítico empleado destaca por la rapidez (20 muestras de cuatro componentes en unas cuatro horas) y por su precisión, superior a la de los otros métodos empleados normalmente.

AGRADECIMIENTOS

A J. M. Ros la realización de las figuras, a C. Gayá el suministro de los datos climáticos.

BIBLIOGRAFÍA

BATHURST, R. G. C. 1975: *Carbonate sediments and their diagenesis*. Developments in Sedimentology, n.º 12. Elsevier. Amsterdam.

- BUTZER, K. W. y CUERDA, J., 1962: Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Jour. Geol.*, 70: 398-416.
- CALVET, F. 1979: *Evolució diagenètica en els sediments carbonatats del Pleistocè Mallorca*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 273 p.
- CHUNG, F. H. 1974 a: Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analysis. *J. Appl. Cryst.*, 7: 519-525.
- CHUNG, F. H. 1974, b: Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. II. Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures. *J. Appl. Cryst.*, 7: 526-531.
- CUERDA, J. 1975: *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Diputación Provincial de Baleares, Palma de Mallorca. 304 p.
- FRIEDMAN, G. M. 1964: Early diagenesis and lithification in carbonate sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 34: 777-813.
- GAVISH, E. y FRIEDMAN, G. M., 1969: Progressive diagenesis in Quaternary to Late Tertiary carbonate sediments: Sequence and time scale. *Jour. Sed. Petrol.*, 39: 980-1006.
- KLUG, H. P. y ALEXANDER, L. E. 1974: *X-ray diffraction procedures*. John Wiley, New York, 716 p.
- LAND, L. S., MACKENZIE, F. T. y COULD, S. J. 1967: Pleistocene history of Bermuda. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78: 993-1006.
- RISTVET, B. L. 1971: The progressive diagenetic history of Bermuda. *Bermuda Biol. Station for Research, Spec. Public.*, 9: 118-157.
- SELIM, A. A. 1974: Origin and lithification of the Pleistocene carbonates of the Salum Area, Western Coastal Plain of Egypt. *Jour. Sed. Petrol.*, 44: 70-78.
- STEHLI, F. G. y HOWER, J. 1961: Mineralogy and early diagenesis of carbonate sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 31: 358-371.
- WARD, W. C. 1970: *Diagenesis of Quaternary eolianites of NE Quintana Roo, Mexico*. Tesis Doctoral. Rice University.
- WARD, W. C. 1975: Petrology and diagenesis of carbonate eolianites of Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. In K. F. WANTLAND y W. C. PUSEY (Ed.). *Belize Shelf Carbonate sediments, Clastic sediments and Ecology*. Studies in Geology n.º 2. A. A. P. G., p. 500-571.
- WINLAND, H. D. 1971: *Diagenesis of carbonate grains in marine and meteoric waters*. Tesis Doctoral. Brown University. 320 p.

Recibido, 19 febrero, 1980, revisado, 30 junio, 1980.