

# LOS MÁRMOLES GRIEGOS DE LOS MONTES PENTÉLICO E HIMET

Aurelio Álvarez Pérez

En el mundo griego y posteriormente en el romano se da una utilización cada vez más extensa de materiales lapídeos, denominados «mármara», en los que se incluyen todos aquellos materiales que son susceptibles de ser pulimentados (Moretti, 1961). Una de las variedades más conocidas y apreciadas en Grecia era, sin lugar a dudas, el mármol pentélico, proveniente del monte del mismo nombre, situado a 15 km al NE de la ciudad de Atenas. Otra variedad muy usada en Grecia, aunque al parecer de calidad inferior, es el mármol que provenía del monte Himet (actualmente denominado monte Tramo), a 8 km al SE de Atenas.

La información que se posee sobre estos dos tipos de mármol es muy extensa y muy antigua, pero no siempre clara y precisa. En términos bastante modernos, Pieri (1966) define el mármol pentélico como de grano fino (microsacaróide), más opaco que el mármol de Paros y añade que, expuesto al aire libre, adquiere una pátina dorada y, según él, es difícil distinguirlo del mármol de Carrara. La descripción que da Gnoli (1971) no difiere mucho de la anterior. Afirma que es un mármol fácilmente reconocible y que presenta inclusiones de micas y talco. El himeto viene definido por estos mismos autores como un mármol de color blanco oscuro con tonalidades verdes y con venas largas y paralelas de color oscuro y olor fétido. Gnoli (1971) indica que fue utilizado principalmente en arquitectura y que es fácilmente confundible con el mármol proconesio de la actual isla de Mármara en Asia Menor. Por su parte, Moretti (1961) dice que puede confundirse con las variedades tipo bardiglio de Carrara.

Fueron mármoles ampliamente utilizados por los griegos y siguieron explotándose en época romana. Lafaye (1969) indica la presencia de 25 canteras antiguas reconocibles todavía en el monte Pentélico, de donde, según Lepsius, se llegaron a extraer unos 400.000 metros cúbicos de material. Para la construcción del templo de Eleusis (situado a 40 km de la cantera) se llevaron bloques de 5 Tm

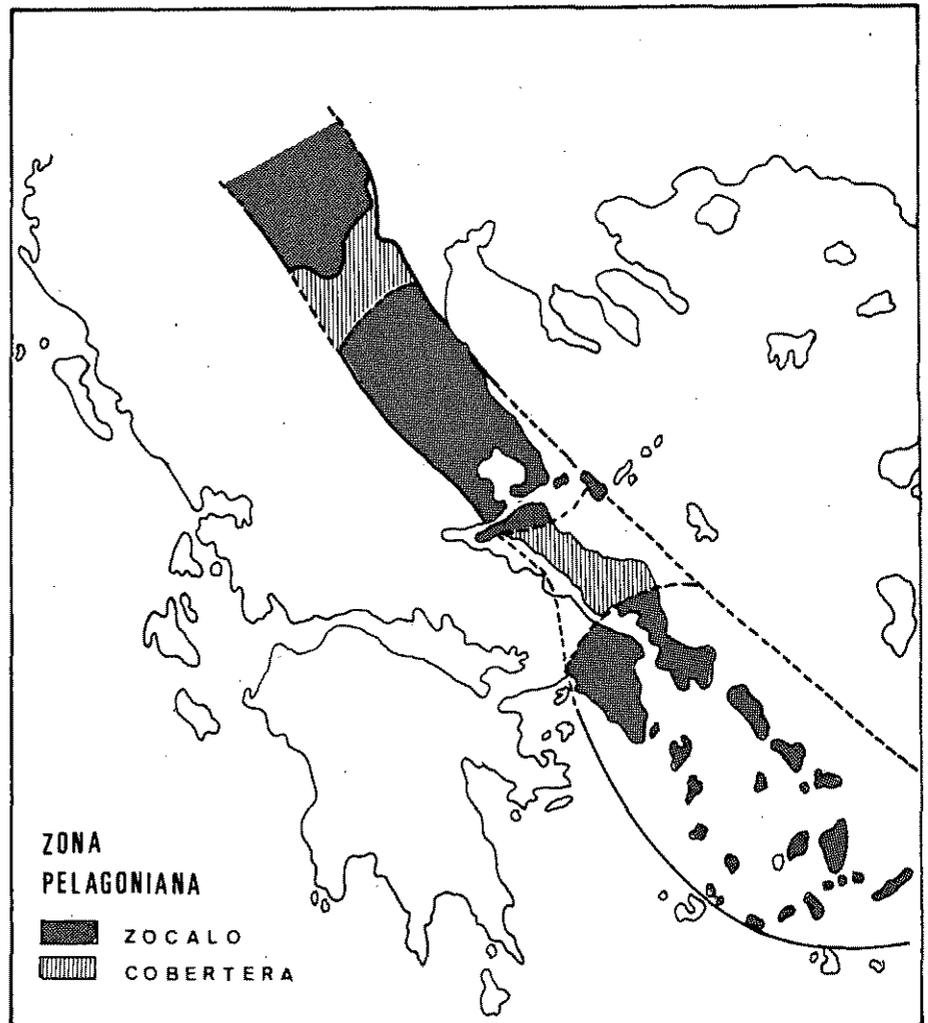
de peso (Mannoni 1978). Existen indicios de explotación desde el primer milenio antes de Cristo, pero la época de máxima producción se inicia a partir del siglo V antes de J.C. (Lafaye 1969). Fidias y Praxíteles lo usaron en sus esculturas (Moretti, 1961). En el período clásico se usaba para las partes cubiertas de ropa, mientras que el Paros se usaba para la parte desnuda (Pieri, 1966); un buen ejemplo de ello es la estatua de Esculapio hallada en Ampúrias y que se conserva en el Museo Arqueológico de Barcelona. Los más importantes monumentos de Atenas fueron construidos en mármol pentélico, como el Partenón y el Propileo (Moretti, 1961). Los romanos, a partir del hallazgo del mármol lunense (Carrara), dejaron prácticamente de usarlo, si bien fueron llegando los conocidos sarcófagos áticos trabajados en este material y con anterioridad se había empleado ya en el Arco de Tito (Gnoli, 1971), en el templo redondo que se halla junto al Tíber (Moretti, 1961), y Domiciano lo utilizó para las columnas del Capitolio y para el nuevo templo de Júpiter (Lafaye, 1969). Estas canteras nunca fueron propiedad del emperador. En 1846 el monte Pentélico suministró el mármol para construir el palacio real de Atenas (Dworkowska, 1975). Actualmente se sigue explotando en bloques de unos 250 × 100 × 120 cm y de él se obtiene un mármol con una tonalidad blanca muy uniforme (Salvatori, 1981).

El mármol himeto de tonalidades grises y no tan compacto como el mármol pentélico era más apto para la arquitectura, pero también fue empleado por los griegos en monumentos funerarios e inscripciones (Lafaye, 1969). Se halla presente en el Partenón de Atenas y fue uno de los primeros mármoles introducidos en Roma, por obra de Lucius Crassus, cónsul en el año 95 antes de J.C., según testimonio de Plinio (Gnoli, 1971). Existen también en Roma columnas de mármol himeto en la Basílica de Santa María la Mayor, en San Pedro in vincula y en San Pablo (Pieri, 1966). Se sigue explotando en la actualidad y se obtiene un material

de características muy parecidas al antiguo (Pieri, 1966). Dworakowska (1983) ofrece un catálogo de las canteras existentes en el monte Himet (así como las del monte Pentélico).

## Los materiales

Las descripciones sobre las propiedades y características de estos mármoles, dadas por los diversos autores, no siempre son acordes entre ellas ni tampoco del todo correctas. Braemer (1971) señala la necesidad urgente de establecer las diversas facies de mármol pentélico para evitar precisamente las confusiones que entonces existían para determinar dicho mármol. Dworakowska (1975) se hace cargo de la confusión que existe entre el Pentélico y el Himeto como un reflejo del problema que ya había sido planteado con anterioridad por Herz y Pritchett (1953), quienes ponen de manifiesto las confusiones descriptivas que aparecen en las obras de algunos epígrafistas, los cuales llegan a dar una misma pieza como pentélico en una publicación y como himeto en otra. Existe, además, una confusión de terminología referente al color y al tamaño de grano, actuando en general con prejuicios en el sentido de atribuir a una muestra, por su origen, unas ciertas propiedades que no son evidentes. Partiendo de la disposición geológica de los diversos niveles de mármol presentes en la región ática, llegan a la conclusión de que el mármol himeto corresponde a un nivel de calizas metamorizadas de origen cretácico, que está separado por los esquistos de Kaisarini (Sindowski, 1951) de otra capa subyacente de mármoles, también de edad cretácica, que forman el paquete correspondiente al mármol pentélico. Se tendrían dos capas distintas, la inferior formaría el mármol pentélico y la superior, el mármol himeto. Incluso llegan a insinuar que las dos capas son la misma y que, debido a su plegamiento, aparece duplicada en la actualidad. Lepsius ya había comprobado que tanto el mármol pentélico



Según AUBOUIN (1960)

Fig. 1. — Situación de la región Ática-Cíclades dentro de la zona Pelagónica, en las Helénidas interiores.

como el himeto se hallaban indistintamente en las dos montañas. Herz y Pritchett (1953) no llegan a utilizar el análisis petrográfico y definen el mármol pentélico como de color blanco nieve, de tamaño de grano entre 0,5 y 1 mm de diámetro, claramente foliado y con inclusiones de cuarzo y micas. El himeto sería un mármol gris, con tamaño medio de grano de 0,5 mm y de olor bituminoso, a causa de las inclusiones orgánicas.

Renfrew y Peacey (1968) reemprenden la investigación iniciada por Lepsius mediante el estudio microscópico en lámina delgada. Amplían el número de canteras estudiadas y llegan a la conclusión de que, para fijar las procedencias de los mármoles utilizados en el mundo cultural griego, el método petrográfico, por sí solo, no es suficiente. Por medio del análisis granulométrico, sitúan estas dos variedades de mármol entre los materiales de grano medio a grano fino (diámetro de grano menor que 0,3 mm), lo cual coincide con las determinaciones visuales realizadas tradicionalmente. La observación microscópica del mármol pentélico les permite dividirlo en dos grupos. Uno en el que el mármol aparece con estructura en mosaico, formada por granos de calcita de bordes rectos, equidimensionales y apenas maclados, presentando un ligero bandeo. Mineral accesorio es, principalmente, el cuarzo, presente en granos redondeados y a veces de factura esquelética. El segundo grupo está formado por una serie de mármoles cataclásticos ligeramente granulados (0,08 - 0,12 mm de diámetro), con un bandeo formado por zonas de diversos tamaños de grano. El cuarzo accesorio ha desaparecido. El mármol del monte Himet es de grano algo menor (0,15 mm de diámetro medio), el grado de cristalización y compactación es algo inferior al del pentélico y los cristales de calcita se presentan, por lo general, con una marcada alineación. Los bordes de grano son de tipo granoblastico xenomórfico. El color es blanco bandeo de gris.

La amplia gama de yacimientos observados por estos autores hace que

el problema de la identificación de orígenes quede muy diluido. Ahora bien, los datos suministrados, en lo que concierne al mármol pentélico y al mármol himeto, pueden ser suficientes para distinguirlos entre sí. Aplican finalmente algunas técnicas muy sofisticadas, no comunes ni disponibles en todos los laboratorios, por lo que parecen inadecuadas para un análisis rutinario. El análisis por luminiscencia catódica de probetas metalizadas da un buen resultado para distinguir estos dos tipos de mármol.

Conforto y otros (1975) realizan el análisis químico de elementos traza en muestras de diversa procedencia sin incluir, no obstante, muestras de los lugares de Ática aquí considerados. Sus resultados no son buenos. Tampoco lo son los obtenidos por Crisci (1976) en muestras de Carrara.

Dentro del campo de las técnicas basadas en el análisis isotópico de determinados elementos, son varios los autores que han intentado llegar a la determinación de procedencias geográficas. Manfra y otros (1975) reconocen que no pueden llegar a la determinación de orígenes locales si precinden para ello de las técnicas tradicionales, como puede ser el análisis petrográfico. A partir de la relación entre el  $C^{13}$  y el  $O^{18}$  observan un comportamiento muy parecido, con un gran solapamiento en los resultados, entre el mármol himeto y el proconesio, apareciendo bien separado el pentélico del resto de mármoles procedentes de Asia Menor. Análisis más sencillos llevan a estas mismas conclusiones.

Posteriormente, German (1980) apenas añade nada nuevo a lo ya expuesto hasta entonces. Lazzarini y otros (1980) estudian la relación entre Ca/Sr, pero, a la hora de establecer grupos de comparación, reúnen en uno solo el mármol pentélico y el himeto, grupo que contraponen globalmente al formado por el mármol de Carrara, que en algunos aspectos puede confundirse con los anteriores. Walker (1984) utiliza para sus estudios la relación entre  $C^{13}$  y  $O^{18}$ , lo mismo que había empleado Manfra. Este método, aplicado a la colec-

ción de sarcófagos griegos de estilo ático, existentes en el British Museum de Londres, no da resultados definitorios entre el mármol pentélico y el himeto, y no expone claramente las diferencias existentes entre ellos y los otros posibles mármoles utilizados en la confección de dichos sarcófagos.

## Aspectos geológicos

Los mármoles del monte Pentélico y del monte Himet forman parte del zócalo cristalino de la región ática. Los niveles que forman este zócalo están bien definidos ya desde que Lepsius editara en 1983 en Berlín su obra *Geologie von Attika*. Sin embargo, la atribución de estos niveles a una época geológica definida ha ofrecido más dificultad de la prevista. La región ática forma parte del edificio pelagoniano en las zonas internas de las Helénidas, en el conjunto denominado cadena cristalina media del Egeo, es considerada como el zócalo pre-alpino de las Helénidas, caracterizado por rocas metamorfolizadas entre las que destacan mármoles de espesor considerable (*Géologie des pays européens*, 1980), y se halla recubierta por calizas neríticas cretácicas discordantes, las cuales pasan luego a un *flysh*. El descubrimiento de restos paleontológicos en los mármoles permiten datar estos niveles como pertenecientes a la época que se desarrolla entre el Triásico y el Cretácico inferior (Bonneau, 1978). Papanikolaou (1981) recoge las conclusiones de los últimos años y que asignan las rocas metamórficas de la zona Ática-Ciclades al Mesozoico y al Terciario inferior. Un mapa global con las distintas unidades estructurales ha sido confeccionado por Aubouin (1960) (fig. 1).

La secuencia estratigráfica ha sido establecida por Sindowski (1949). Sobre la base de unos esquistos micáceos (esquistos de Vari) se halla un primer paquete de materiales carbonatados, formado por las denomi-

nadas dolomitas de Pirnari, más o menos metamorizadas, las cuales aparecen en el monte Himet, pero no en el monte Pentélico. A continuación se encuentran los primeros niveles de mármoles (mármoles inferiores), de color blanco, grano medio y bandeados por zonas de diverso tamaño de grano, debidas al metamorfismo de dislocación que ha actuado en la región. Contienen diversos minerales accesorios: clorita, cuarzo, moscovita, ortosa, microclina y minerales de hierro. En el monte Himet forman, de arriba abajo, la siguiente secuencia:

- mármol blanco finamente estratificado,
- mármol de fondo gris en capas delgadas y finas, y
- mármol brechoide de color amarillo a rojo.

En el monte Pentélico aparecen:

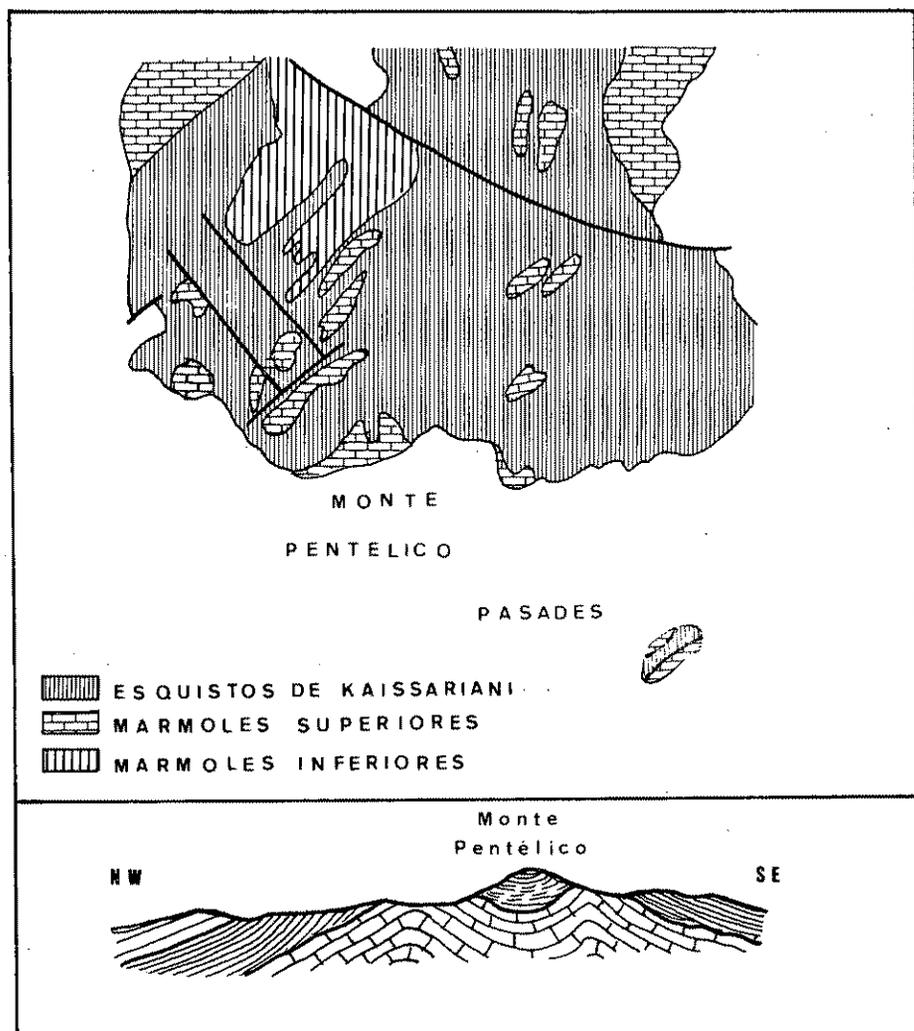
- mármol abigarrado en capas muy finas,
- mármol más oscuro también en capas finas, y
- mármol blanco en bancos muy potentes.

Por encima de estos mármoles aparecen los esquistos de Kaisariáni, que han sido objeto de diversos estudios (Parakevopoulos, 1957) y que contienen un horizonte intermedio de mármoles alternando con calcoesquistos y de características muy parecidas tanto en el monte Himet como en el Pantélico.

Encima se halla un nuevo paquete de mármoles (mármoles superiores) que aparecen bien desarrollados y difundidos en el monte Himet, pero en cambio apenas afloran en el monte Pentélico. Son mármoles de tamaño de grano variable, desde grueso a muy fino. Presentan orientación de grano y bandeo de zonas formadas por granos de diverso tamaño medio de grano.

Los esquistos de Vari son netamente paleozoicos. Los mármoles inferiores son del Triásico-Jurásico y los mármoles superiores pertenecen al Cretácico inferior.

El metamorfismo que ha actuado en la zona es de tipo regional y ha dado lugar a los materiales metamórficos (esquistos, mármoles...) sobre



Según SINDOWSKI (1949)

Fig. 2. — Mapa geológico y corte transversal del monte Pentélico.

los que posteriormente ha actuado una fase de distensión y cataclasis, originando deformaciones, lineaciones e incluso roturas en los mármoles. El monte Pentélico está formado, en su mayor parte, por los esquistos micáceos de Kaisariani, entre los que aparecen los mármoles intermedios. Los mármoles inferiores tienen un amplio afloramiento, al contrario que los mármoles superiores muy poco representados (fig. 2). El monte Himet presenta dos zonas bien diferenciadas y separadas por dos fallas, una de orientación E-W y otra de dirección SW-NE. El núcleo de la zona N está formado por mármol inferior, sobre el que se hallan los esquistos de Kaisariani. En esta zona aparecen, separados por una falla, los materiales no metamórficos del Cretácico (fig. 3). La parte sur presenta niveles más antiguos. En ellos aparecen los esquistos de Vari y los de Pirnari, subyacentes ambos a los mármoles inferiores.

## Análisis petrográfico

El análisis petrográfico se ha realizado en unas series de muestras obtenidas directamente de las canteras del monte Pentélico y del monte Himet. En el monte Pentélico se han muestreado dos canteras con un total de 13 y 12 muestras respectivamente. Del monte Himet se dispone de cinco muestras provenientes de las canteras.

La primera cantera del monte Pentélico, designada con la letra A, está abierta en los mármoles inferiores y se halla situada a medio camino de la cumbre, donde actualmente se hallan unas instalaciones de tipo militar. Se han distinguido dos tipos fundamentales de mármol:

### a. — Muestra A1 (n.º 5.088)

Color blanco.

Tamaño de grano medio a fino.

Estructura en mosaico, algo heterogranular.

Granos con bordes rectos, a veces con marcadas sinuosidades, muy maclados y con abundantes exfoliaciones.

El cuarzo como mineral accesorio.

Presentan esta misma estructura las muestras:

A2 (5.089) Grano un poco orientado.

A4 (5.091) Grano pequeño con algún cristal de tamaño muy grande (fig. 4).

A8 (5.095) Estructura en mosaico con un ligero bandeado de zonas heterogranulares.

A9 (5.096)

A10 (5.097)

A11 (5.098) Ligera orientación del grano.

A12 (5.099)

A13 (5.100)

### b. — Muestra A3 (n.º 5.090)

Color blanco.

Tamaño de grano: medio a muy fino.

Difiere de la anterior por una clara orientación del grano, acentuada por un bandeado formado por zonas de diversa granulación. El cuarzo está también alineado paralelamente al bandeado y se presenta en granos redondeados de muy diverso tamaño.

A5 (5.092) Presenta una banda de granos de cuarzo xenoblásticos, muy heterogranular, extinción ondulante en los grandes cristales, que aparecen microgranulados en los bordes y en las zonas de rotura.

A7 (5.094) Zonas bandeadas, formadas por distinto tamaño de grano, con señales evidentes de acción cataclástica. Granos de cuarzo alineados con las bandas.

La segunda cantera se halla situada debajo mismo de las instalaciones militares. De ella se extrajo el material para la construcción de la Acrópolis de Atenas. Ha sido reexplotada y removilizada en la actualidad. Se han formado también dos grupos de muestras:

### a. — Muestra B1 (n.º 5.101)

Mármol de color blanco, con las características descritas en la muestra A1 (5.088) con el grano un poco orientado.

B2 (5.102) Bordes de grano marcadamente más sinuosos. Ligera orientación del grano.

B3 (5.103) Algunos cristales xenomorfos de cuarzo, de tamaño medio.

B4 (5.104) Estructura clara en mosaico. Grano medio.

B5 (5.105)

B6 (5.106)

B7 (5.107)

B9 (5.109) Algunos nidos con grano muy pequeño. Orientación de grano poco diferenciada.

B10 (5.110) Heterogranular.

B11 (5.111) Alguna zona con grano de tamaño muy grande.

B12 (5.112) Muy parecida a la anterior.

### b. — Muestra B8 (n.º 5.108)

Estructura en mosaico, con granos muy alargados y con orientación preferente muy marcada. Bandeada en zonas de distinto tamaño de grano. Algunos cristales de cuarzo.

Un grupo de muestras procedentes del monte Pentélico y recogidas en lugares muy diversos de las capas de mármol presentan características muy semejantes a los modelos antes descritos:

487 Grano muy pequeño y muy maclado. Orientación preferente.

5.135 Estructura en mosaico. Equigranular.

5.137 Grano un poco alargado y orientado.

5.138 Muy deformado, con microtrituración cataclástica.

5.140 Estructura clara en mosaico.

5.143 Muy heterogranular, debido a una intensa acción cataclástica. Cristales relictos de tamaño muy grande.

Muestras arqueológicas, procedentes de diversos lugares de Atenas, se han identificado como mármol pentélico:

- 463 Procedente de la Acrópolis.
- 466 Procedente del Teatro de Dionisos (Acrópolis).
- 469 Procedente del Teatro de Dionisos (Acrópolis).
- 470 Procedente del Teatro de Dionisos (Acrópolis).
- 1.292 Procedente del Olimpeion.
- 1.293 Procedente del Olimpeion.
- 1.294 Procedente del Olimpeion.
- 1.295 Procedente del Olimpeion.
- 1.296 Procedente del Olimpeion.
- 1.297 Procedente del Olimpeion.

Las muestras procedentes del monte Himet son más dispersas y menos abundantes y provienen de lugares donde, aprovechando antiguas explotaciones, actualmente se sigue trabajando. También podemos considerar dos series de muestras:

a. — Muestra n.º 486

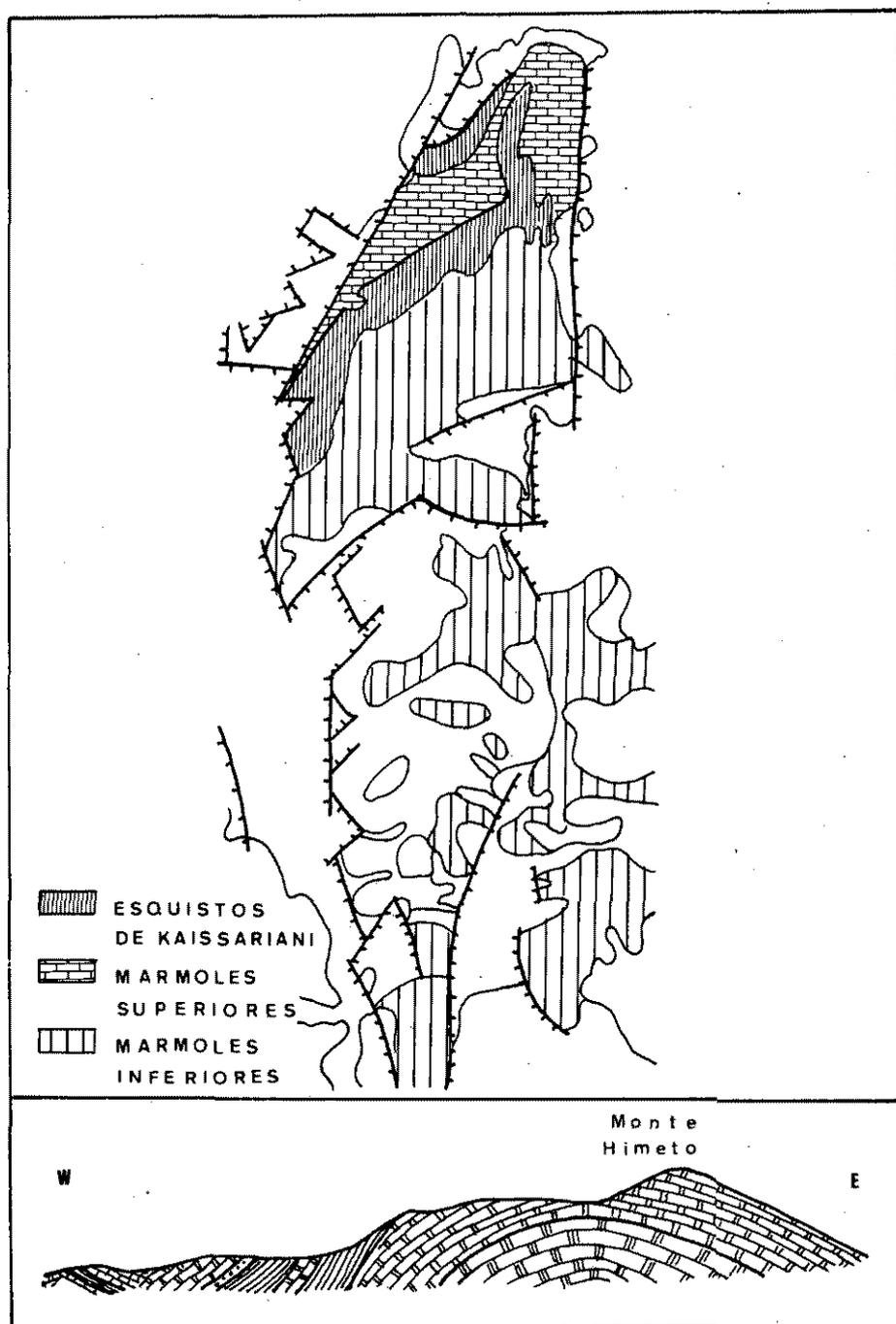
Mezcla muy irregular de granos de tamaño medio en una especie de matriz de grano muy fino y de mala cristalización. Contactos entre granos muy difusos. El aspecto de los granos de mayor tamaño es parecido al de los granos del mármol pentélico (bordes rectilíneos, abundantes macías y muchas líneas de exfoliación). Aspecto total xenoblástico muy típico. Algunos granos de cuarzo (fig. 5).

Muestra n.º 490

Muy parecida a la anterior, con mayor abundancia de cristales de tamaño medio, los cuales forman una trama más tupida que la que aparece en la muestra anterior y entre la que se disponen los granos de tamaño pequeño. Mala cristalización. Aspecto global xenomorfo, algo difuso.

b. — Muestra n.º 488

Grano fino a medio muy heterogéneo, con algo de alineación incipiente. Aspecto semejante al del mármol pentélico, es decir, estructura en mosaico más marcada que en las muestras del grupo anterior. Bordes de grano sinuosos, a veces muy interpe-



Según SINDOWSKI (1949)

Fig. 3. — Mapa geológico y corte transversal del monte Himet.

netrados unos en otros. Abundantes maclas y exfoliaciones.

Muestra n.º 489

Parecida a la anterior, pero con cristales grandes aislados en una masa de cristales pequeños y con bordes xenomorfos muy marcados.

Muestra n.º 5.134

Aspecto xenomorfo muy claro. Bandas de diversos tamaños de grano (de pequeño a grande). Granos alargados y orientados. En algunas zonas se observan deformaciones en los grandes cristales en sus planos de macla y en sus límites de exfoliación.

Se dispone también de algunas muestras arqueológicas que han sido identificadas como este tipo de mármol:

464 (Acrópolis): Grano muy pequeño y aspecto xenomorfo dominante y algo difuso.

465 (Acrópolis): Parecida a la anterior con el grano algo orientado.

467 (Teatro de Dionisos, Acrópolis)

492 (Ágora romana)

## Análisis químicos

En un trabajo todavía no publicado se han analizado, dentro de un conjunto de muestras provenientes de nueve canteras distintas, los elementos siguientes: Ca, Mg, S, Al, Si, Fe, Mn y Sr. Entre estas muestras se encuentran diez pertenecientes a la cantera A del monte Pentélico. Los resultados se hallan expuestos en la tabla I y vienen expresados en ppm (gr/Tm).

## Discusión

Además de las tradicionales confusiones entre el mármol pentélico y el himeto, los autores señalan como confusiones más comunes las que pueden existir entre el pentélico y el carrara y entre el himeto y el proco-

nesio y la variedad gris bardiglio de Carrara.

Según se ha visto en el estudio geológico, el mismo tipo de materiales aparece en el monte Pentélico y en el monte Himet. Una distancia de tan sólo 20 a 25 km no justifica, a escala geológica, una causa de diferenciación. Por tanto, hemos de admitir que una muestra de mármol determinado puede provenir tanto de un lugar como de otro. En este aspecto se explican las confusiones antes citadas. Si no existe una referencia histórica, no podemos saber de cuál de los dos lugares procede una muestra. Se sabe, con todo, que en la Acrópolis de Atenas se utilizó un pentélico blanco, proveniente de la cantera que hemos denominado B y que también era del mismo lugar el mármol blanco usado en escultura. También se utilizó un mármol gris proveniente del monte Himet.

Las variedades blancas y las variedades grises se diferencian perfectamente entre ellas (fig. 4 y 5), pero el análisis petrográfico no permite fijar un lugar exclusivo de procedencia. Sin embargo, históricamente se confirma la tendencia a obtener el mármol blanco del monte Pentélico y el gris del monte Himet. Se propone abandonar la clásica diferenciación entre mármol pentélico y mármol himeto, en sentido geográfico, y reservarla solamente para aquellos casos en que una documentación adicional certifique su exacta procedencia. También podría reservarse la denominación de pentélico para el mármol blanco y la de himeto para el mármol de color gris, como lugares más frecuentes (pero no exclusivos) de su obtención.

En lo que se refiere al mármol pentélico y al mármol de Carrara, la diferenciación procede de su misma estructura, aunque a veces puede ser difícil de determinar. Un mármol pentélico con estructura en mosaico bien desarrollada (fig. 6) y uno de Carrara (fig. 7) pueden asemejarse considerablemente. Como criterios petrográficos diferenciadores se podrían citar los siguientes:

— Carrara:

tamaño de grano muy regular, bordes de grano bastante redondeados, granos apenas interpenetrados (unos al lado de otros), ausencia casi total de granos xenomorfos, maclas finas y no demasiado abundantes, y granos poco orientados.

— Pentélico:

muy heterogranular, bordes de grano casi rectangulares, interpenetración de unos granos en otros, abundantes bordes xenomorfos, maclas gruesas y abundantes, y frecuente orientación de grano.

Normalmente, el aspecto general, observado al microscopio, suele ser suficientemente diverso para distinguirlos, cosa que a simple vista puede no ser del todo posible.

El mármol himeto y el proconesio se distinguen normalmente por el tamaño de grano. Aunque existen en ambos lugares mármoles de grano fino y de grano grueso, en la antigüedad se explotaban preferentemente el proconesio de grano grueso (muy abundante y difundido por todo el Imperio romano) y el himeto de grano fino, más parecido al gris bardiglio de Carrara que al proconesio. En Mármara se explota actualmente un mármol de grano fino de color blanco amarillento, pero muy compacto y distinto no sólo del himeto sino también del pentélico tradicionales.

Si a simple vista puede confundirse el himeto con el gris bardiglio, al microscopio son totalmente diversos. El himeto mantiene la configuración difusa en los contactos entre granos (fig. 8) y, en cambio, el bardiglio presenta una granulación fina, homogénea y con los granos bien definidos y separados (fig. 9).

Los análisis químicos pueden servir, por su parte, para completar el diagnóstico petrográfico. Las mayores semejanzas y, por lo mismo, la principal fuente de confusión puede darse, a nuestro parecer, entre el mármol pentélico, con estructura en mosaico, y el mármol de Carrara. Se

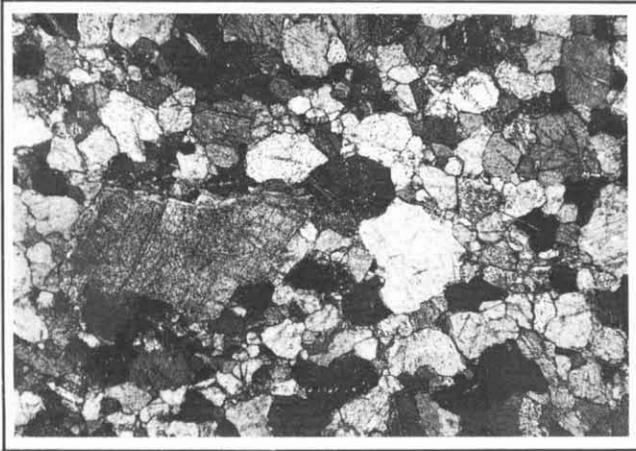


Fig. 4. — Muestra A4 (5.091). N.C. 50x  
Mármol pentelico con estructura en mosaico, heterogranular.



Fig. 5. — Muestra 486. N.C. 50x.  
Mármol himeto, muy heterogranular. Contacto entre granos muy difusos.

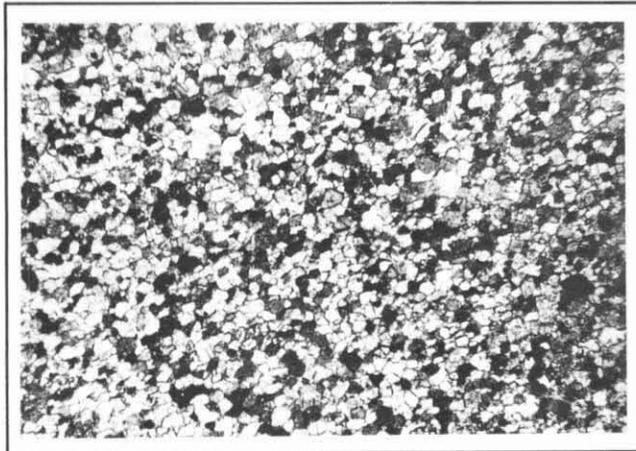


Fig. 6. — Muestra B5 (5105). N.C. 50x.  
Mármol pentelico con estructura en mosaico característica. Proviene de la cantera que suministró el mármol blanco de la Acropolis de Atenas.

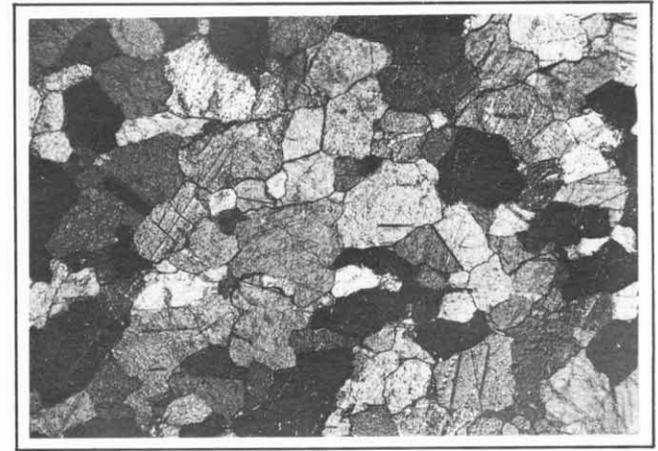


Fig. 7. — Muestra B-10. N.C. 50x.  
Carrara procedente de la zona de la Colonnata. Estructura en mosaico. Grano muy homogéneo.

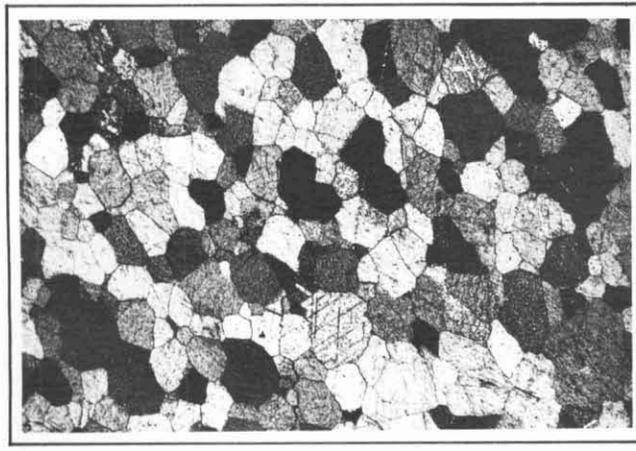


Fig. 8. — Muestra 465. N.C. 50x.  
Mármol himeto de grano fino.

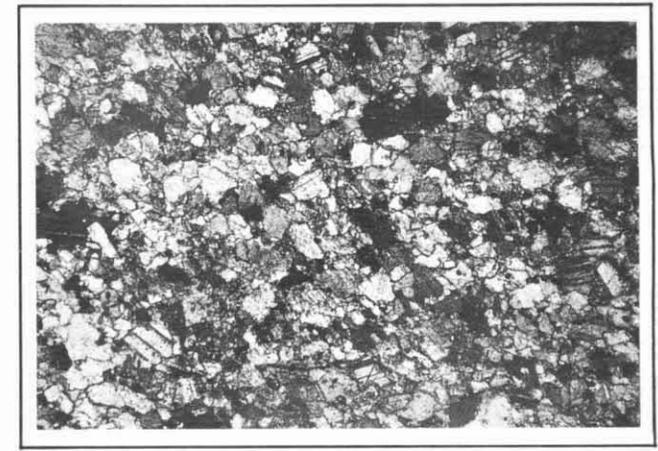


Fig. 9. — Muestra B-2. N.C. 50x.  
Mármol de Carrara, variedad gris bardiglio.

dispone de los análisis de 10 muestras provenientes del monte Pentélico (Tabla I) y de los análisis de 21 muestras provenientes de Carrara, de la zona de la Colonnata (Tabla II). A estos datos se ha aplicado el cálculo estadístico.

Los valores medios (Tabla III) obtenidos muestran dispersiones típicas muy grandes, que anulan su utilización como valor único, representativo de todas las muestras del grupo.

Los coeficientes de correlación lineal de Pearson dan para ambos tipos de mármol un coeficiente prácticamente igual a 1 entre las variables que corresponden al Ca y al Mg (Tablas IV y V), resultado que era lógico esperar, pues la presencia de Ca y Mg se debe fundamentalmente a la de calcita por un lado y de dolomita por otro, minerales donde dichos elementos se relacionan de un modo estequiométrico fijo. Aparecen otros coeficientes elevados, pero tal vez el más significativo sea el que se da entre el Si y el Al (0,9945 para Carrara y 0,9900 para Pentélico), ambos con un alto nivel de significación ( $p = 0,000$ ). Ello indica que la mayoría de Si y Al se hallan presentes en forma de silicatos aluminicos, como son, por ejemplo, los feldespatos y las plagioclasas. Una pequeña parte de Si aparece independiente del Al en forma de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

El análisis factorial señala en ambas series de muestras la presencia de un factor predominante (Tabla VI), que explica por sí solo más del 50 % de la varianza total. Este factor debe asociarse al Ca. El Mg, correlacionado linealmente de un modo total con el Ca, no explica nada que no haya explicado el Ca, por tanto, debe identificarse con el factor último, que explica el 0 % de la varianza total. Los elementos Si y Al, altamente correlacionados, pueden identificarse con el factor 2, de más baja significación que el anterior, y con el factor 7, que tampoco añade nada nuevo a lo explicado por el otro factor. Al ser estos últimos elementos traza, su influencia no es tan importante como la del Ca y Mg, que son elementos mayoritarios.

TABLA I  
Pentélico

	Ca	Mg	S	Al	Si	Fe	Mn	Sr
A-1	398.720	924	260	935	1.507	231	107	45
A-2	399.451	396	241	809	1.177	1.423	88	50
A-3	399.085	660	240	7.966	13.257	2.505	1.638	27
A-5	399.634	264	353	330	2.643	178	131	65
A-6	394.021	4.354	255	8.663	15.100	1.145	6.446	43
A-7	395.242	3.431	222	550	1.224	847	192	141
A-8	399.451	396	242	433	337	123	52	83
A-9	399.817	132	239	382	297	103	28	49
A-10	399.817	132	221	392	1.350	129	96	87
A-11	399.634	264	209	311	174	131	592	56

TABLA II  
Carrara

	Ca	Mg	S	Al	Si	Fe	Mn	Sr
B-1	399.451	396	345	649	1.987	96	18	15
B-2	399.817	132	807	4.680	9.815	626	63	60
B-3	398.720	924	409	484	904	99	15	55
B-4	399.817	132	445	305	710	107	22	19
B-5	400.000	0	391	396	1.124	62	15	31
B-6	400.000	0	366	441	897	61	19	20
B-7	399.917	132	636	390	884	64	52	41
B-8	397.804	1.583	412	510	900	99	15	22
B-9	394.693	3.817	868	2.638	5.039	411	52	10
B-10	391.766	5.938	469	2.348	4.696	306	61	65
B-11	400.000	0	387	313	340	51	25	153
B-12	400.000	0	365	544	674	1.392	16	10
B-13	400.000	0	424	484	1.130	83	15	30
B-14	399.817	132	398	615	1.130	107	15	42
B-15	399.817	132	451	370	657	75	25	16
B-16	399.817	132	456	857	1.807	218	22	21
B-17	399.817	132	353	572	1.404	89	22	12
B-18	396.706	2.375	939	999	2.787	319	22	263
B-19	308.324	66.104	304	9.776	17.363	2.309	64	10
B-20	396.706	2.375	307	3.111	5.279	1.270	366	10
B-21	399.451	396	383	3.498	6.659	1.236	471	10

TABLA III  
VALORES MEDIOS

	CARRARA		PENTÉLICO	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Ca	394.397,14	19.837,11	398.468,90	2.067,15
Mg	4.039,62	14.303,76	1.075,30	1.509,58
S	472,14	181,78	248,20	39,96
Al	1.618,09	2.253,78	2.077,10	3.297,89
Si	3.151,71	4.088,70	3.661,60	5.604,81
Fe	432,38	607,20	681,50	804,74
Mn	63,38	120,99	936,30	1.996,68
Sr	41,95	60,91	64,60	32,44

TABLA IV

	Ca	Mg	S	Al	Si	Fe	Mn	Sr
Ca	1,0000							
Mg	-1,000 p = 0,000	1,000						
S	0,1752 p = 0,224	-0,1752 p = 0,224	1,0000					
Al	-0,8479 p = 0,000	0,8479 p = 0,000	0,0232 P = 0,460	1,0000				
Si	-0,8161 p = 0,000	0,8161 p = 0,000	0,0880 p = 0,352	0,9945 p = 0,000	1,0000			
Fe	-0,7142 p = 0,000	0,7142 p = 0,000	-0,1800 p = 0,217	0,8265 p = 0,000	0,7918 p = 0,000	1,0000		
Mn	-0,0164 p = 0,472	0,0164 p = 0,472	-0,1498 p = 0,259	0,3604 p = 0,054	0,3481 p = 0,061	0,5088 p = 0,009	1,0000	
Sr	0,1381 p = 0,275	-0,1381 p = 0,275	0,5381 p = 0,006	-0,1805 p = 0,217	-0,1418 p = 0,270	-0,2499 p = 0,137	-0,2230 p = 0,166	1,0000

TABLA V

	Ca	Mg	S	Al	Si	Fe	Mn	Sr
Ca	1,0000							
Mg	-0,9996 p = 0,000	1,0000						
S	0,0960 p = 0,396	-0,0876 p = 0,405	1,0000					
Al	-0,5252 p = 0,058	0,5298 p = 0,058	-0,0085 p = 0,491	1,0000				
Si	-0,5364 p = 0,055	0,5401 p = 0,054	0,0965 p = 0,395	0,9900 p = 0,000	1,0000			
Fe	-0,2710 p = 0,224	0,2760 p = 0,220	-0,1180 p = 0,373	0,7450 p = 0,007	0,7203 p = 0,009	1,0000		
Mn	0,7303 p = 0,008	0,7338 p = 0,008	0,0186 p = 0,480	0,8130 p = 0,001	0,8512 p = 0,001	0,3817 p = 0,138	1,0000	
Sr	-0,2971 p = 0,202	0,2845 p = 0,213	-0,1857 p = 0,304	-0,4845 p = 0,078	-0,4507 p = 0,096	-0,3278 p = 0,178	-0,3287 p = 0,177	1,0000

TABLA VI  
ANÁLISIS FACTORIAL

Factor	CARRARA			PENTÉLICO		
	Valor propio	PCT de VAR	CUM PCT	Valor propio	PCT de VAR	CUM PCT
1	4,51162	56,4	56,4	4,33786	54,2	54,2
2	1,58305	19,8	76,2	1,88165	23,5	77,7
3	1,13013	14,1	90,3	1,03896	13,0	90,7
4	0,50468	6,3	96,6	0,56614	7,1	97,8
5	0,17997	2,2	98,9	0,14125	1,8	99,6
6	0,08889	1,1	100,0	0,03243	0,4	100,0
7	0,00167	0,0	100,0	0,00161	0,0	100,0
8	0,00000	0,0	100,0	0,00010	0,0	100,0

En el mármol de Carrara cuatro elementos explican el 96,6 % de la varianza total, y en el pentélico el 97,8 %, respectivamente. Para cálculos sucesivos, dentro de un margen de error inferior al 5 %, pueden utilizarse solamente cuatro de los ocho elementos analizados inicialmente.

El análisis discriminatorio nos indicará, finalmente, si los elementos analizados son suficientes para ca-

racterizar y separar entre sí las dos series de mármoles. Sin olvidar la limitación que impone el número reducido de muestras, los resultados son bastante claros. El grupo 2 (mármol pentélico) queda perfectamente definido frente al grupo 1 (mármol de Carrara). Establecidas las recetas de discriminación de Fisher, una posterior reclasificación de los casos sitúa solamente una muestra de Carrara dentro de las característi-

cas del grupo 2 (pentélico). Los grupos aparecen bien separados entre sí.

En resumen, aplicando el análisis petrográfico, la diferenciación entre pentélico e himeto en el sentido expuesto en el texto es clara. También es clara la diferenciación entre himeto y proconesio y bardiglio. En casos dudosos, la aplicación del análisis químico de elementos traza puede ayudar a solventar el problema.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUBOUIN, J. (1960), «Le Crétacé supérieur en Grèce», en *Bulletin de la Société géologique de France*, 7.<sup>a</sup>, t. II, págs. 452-469.
- BONNEAU, M., GEYSBANT, J., y LEPURIER, C., (1978), «Tectonique alpine dans le massif d'Attique-Cyclades (Grèce): Plis couchés kilométriques dans l'île de Naxos. Conséquences», en *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique* (2), vol. XX, fase 1, págs. 109-122.
- BRAEMER, F. (1971), «Les marbres à l'époque romaine», en *Bull. de la Soc. Franc. d'Archéologie classique*, págs. 167-174.
- CONFORTO, L., FELICI, M., MONNA, D., SERVA, L., y TADDEUCCI, A. (1975), «A preliminary evolution of chemical data (trace element) from classical marble quarries in the Mediterranean», en *Archaeometry*, vol. 17, págs. 201-213.
- CRISCI, G.M., LEONI, L., y SBRANA, A. (1973), «La formazione dei Marmi delle Alpi apuane (Toscana). Studio petrografico mineralógico e chimico», en *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Memorie*, Vol LXXXII, págs. 199-236.
- DWORAKOWSKA, A. (1975), *Quarries in ancient Greece*, Bibliotheca Antiqua, Varsovia.
- DWORAKOWSKA, A. (1983), *Quarries in Roma Provincias*, Bibliotheca Antiqua, Varsovia.
- GERMANN, K., HOLZMANN, G., y WINKLER, F.J. (1980), «Determination of marble provenance limits of isotopic analysis», en *Archaeometry*, 22, 1, págs. 99-106.
- GNOLI, R. (1971), *Marmona Romana*, Roma.
- HERZ, N., y PRITCHETT, W.R. (1953), «Marble in Attic epigraphy», en *American Journal of Archaeology*, vol. 55, n.º 2, págs. 7K-83.
- LAFAYE, G. (1904), «Marmor», en *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines*, Paris, v III/2, 1597-1605 (reimpresión de 1969).
- LAZZARINI, L., MOSCHINI, G., y STIEVANO, B.M. (1980), «A contribution to the identification of italian, greek and anatolian marbles through a petrological study and the evaluation of Ca/Sr ratio», en *Archaeometry*, 22, 2, págs. 173-183.
- MANFRA, L., MASI, U., y TURI, B. (1975), «Carbon and oxygen isotope ratios of marbles from some ancient quarries of western Anatolia and their archaeological significance», en *Archaeometry*, 17, 2, págs. 215-221.
- MANNONI, L.T. (1978), *Il marmo, materia e cultura*, Genova.
- MORETTI, A. (1961), «Marmo», en *Enciclopedia dell'arte antica, classica ed orientale*, Roma, vol. IV, págs. 860-870.
- PAPANIKOLAOU, J. (1981), «Remarks on the kinematic interpretation of folds from some cases of the western swiss Alps and of the Hellenides», en *Annales géologiques des pays Helleniques*, págs. 741-762.
- PARAKEVOPOULOS (1957), «Die Gesteine des Horizons des Kaessariani-Schiefers im Pentelikongebirge», en *Annales géologiques du Pays Helleniques*, 8, págs. 223-245.
- PIERI, M. (1966), *Marmologia. Dizionario di marmi e graniti italiani ed esteri*, Ed. Hoepli, Milán.
- RENFREW, C., y PEACEY, S. (1968) «Aegean marble: a petrological study», en *Annual of the British School at Atenas*, vol. LXIII.
- SALVATORI, N. (1981), *I paesi della Pietra piegata*, Marina de Massa.
- SINDOWSKI, K.H. (1949), «Der geologische Bau von Attika», en *Annales géologiques des Pays Helleniques*, 2, págs. 163-218.
- SINDOWSKI, K.H. (1951), «Zur geologie des lykabetos-turkowuni-Gebietes bei Athen», en *Annales géologiques des Pays Helleniques*, 3, págs. 11-21.
- AAUU (1980), *Geologie des pays europeens. Espagne, Grece, Italie, Portugal, Yougoslavie*. Paris, Ed. Dunod.
- WALKER, S. (1984), «Marble origin by isotopic analysis», en *World Archaeology*, v. 16, n.º 2, págs. 204-221.