

## NUEVOS DATOS SOBRE LAS MINERALIZACIONES DE VERMICULITA ASOCIADAS A ROCAS ULTRABASICAS DE LA PROVINCIA DE MALAGA: CARRATRACA

F. J. Luque del Villar (\*), M. Rodas (\*) y A. Justo Erbez (\*\*)

### RESUMEN

La vermiculita estudiada en este trabajo se encuentra en un dique-bolsada de textura pegmatítica situado en el macizo ultramáfico de la Sierra de Aguas (Carratraca, Málaga).

El comportamiento de las muestras naturales y saturadas con  $Mg^{++}$  corresponde al esperado para una vermiculita trioctaédrica. Sin embargo, cuando las muestras se han tratado con  $K^+$  se observa que no colapsan a 10 Å. Este hecho es atribuido a la presencia de capas brucíticas en el espacio interlaminar de la vermiculita, aunque sin llegar a formarse una auténtica clorita.

El origen de la vermiculita, a partir de una mica original rica en magnesio, se relaciona temporalmente con la serpentinización meteórica del macizo. Asimismo se discute la posibilidad de una relación genética directa de estos diques con vermiculita y los macizos ultramáficos.

**Palabras clave:** *Vermiculita, rocas ultrabásicas, serpentinización, Málaga.*

### ABSTRACT

The vermiculite studied in this paper is located within a pegmatitic pocket-like dike in the ultramafic massif of Sierra de Aguas (Carratraca, Málaga).

The behaviour of natural and Mg-saturated samples is that of a trioctahedral vermiculite. Nevertheless, when the samples are saturated with  $K^+$ , no collapse to 10 Å is observed. This fact is probably due to the presence of brucitic layers in the interlayer space of the vermiculite, although a true chlorite structure is not reached.

A genesis of vermiculite, from a magnesium-rich mica, temporally related with the meteoric serpentinization of the massif is proposed. Moreover, the genetic relationship of these vermiculite-bearing dikes with the ultramafic massifs is discussed.

**Key words:** *Vermiculite, Ultrabasic rocks, Serpentinization, Málaga.*

### Introducción

Con el objetivo de completar el estudio de las mineralizaciones de vermiculita asociadas a las rocas ultrabásicas de la provincia de Málaga se describen en este trabajo, por vez primera, las características geológicas y mineralógicas de un dique-bolsada con vermiculita situado en el macizo ultramáfico de la Sierra de Aguas (Carratraca).

Aunque la mineralogía y génesis de los yacimientos de vermiculita de esta zona han sido ampliamente tratados en publicaciones recientes (Justo Erbez *et al.*, 1983; Justo Erbez, 1984; Luque *et al.*, 1985), en ellas sólo se citaban los existentes en los macizos de Ojén

y Ronda, sin duda los más importantes en cuanto al volumen de las mineralizaciones. Sin embargo, y obviando las pequeñas dimensiones del afloramiento estudiado, este yacimiento presenta unas asociaciones minerales no encontradas hasta ahora en ninguno de los otros macizos y cuyo significado se discutirá a lo largo del trabajo.

### Situación geológica

El macizo ultrabásico de la Sierra de Aguas, cercano a la localidad de Carratraca, constituye el más septentrional de los alforamientos peridotíticos de la

(\*) Departamento Cristalografía y Mineralogía. Facultad Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.  
(\*\*) Centro de Edafología del Cuarto, C.S.I.C. Sevilla.



provincia de Málaga. Su composición global es menos ultrabásica que la de los macizos de Ojén y Ronda (Aguilar *et al.*, 1973), y, dado su menor tamaño, el porcentaje de roca serpentizada es mayor que en los dos anteriores (I.G.M.E., 1976, 1978).

Como puede verse en la figura 1, la mineralización se encuentra cerca del borde sur del macizo, encajando en una roca serpentizada en la que aún son reconocibles algunos fenocristales de piroxenos. La vermiculita aparece distribuida uniformemente en una bolsada de textura pegmatítica, que se ramifica en su parte superior en un dique de unos 30 cm de potencia. El tamaño de los cristales de vermiculita, de color castaño-verdoso oscuro, no sobrepasa los 10 mm de dimensión máxima. Englobados dentro del dique aparecen xenolitos de aspecto terroso y color blanco, existiendo también, como ocurría en el macizo de Ojén (Luque *et al.*, 1985), xenolitos de la propia roca ultrabásica intensamente serpentizados. No se aprecia reacción entre los xenolitos y el dique que los contiene.

Asimismo existen en las proximidades de este dique otros constituidos únicamente por cuarzo y cuyas orientaciones son variables. No ha sido posible determinar la relación temporal existente entre estos diques estériles y los diques con vermiculita. En todos los casos los contactos de los diques con la roca de caja son netos y rectilíneos, lo que indica que su intrusión se produjo cuando la roca de caja ya se había consolidado, al menos, en gran parte.

## Estudio de la mineralización

### Metodología

#### Análisis mineralógico

En el estudio de la mineralogía de las muestras correspondientes, tanto a la mineralización como a la roca en la que ésta encaja, se ha utilizado como técnica básica la difracción de rayos-X (DRX). Además de este análisis global del dique se ha separado la vermiculita para su estudio específico. Dado el pequeño tamaño de los cristales de este mineral, no fue posible su separación manual. Por ello se recurrió a hacerlo con ayuda de un separador magnético isodinámico Frantz, comprobándose que la discriminación de la vermiculita del resto de los minerales era óptima en el intervalo 0,75-1 A, con una inclinación lateral de 15° derecha y una pendiente longitudinal de 20°.

Asimismo se ha realizado el estudio de la vermiculita tanto por espectroscopia de infrarrojos como por análisis térmico diferencial y termogravimétrico. Los espectros de infrarrojos se obtuvieron en absorbancia, preparando las muestras con KBr y utilizando un aparato Perkin-Elmer 580 B. Los análisis térmico diferencial y termogravimétricos se realizaron en un aparato Rigaku PTC-10A.

Por último se ha realizado un estudio petrográfico de la roca de caja mediante microscopía óptica de luz transmitida y de luz reflejada.

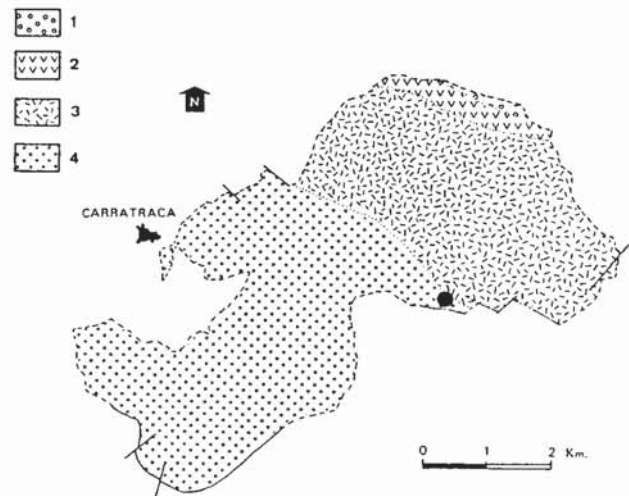


Fig. 1.—Esquema geológico del macizo ultrabásico de Sierra de Aguas y situación de la mineralización estudiada (círculo negro). 1: Facies de borde (dunitas-dunitas piroxénicas); 2: Harzburgitas; 3: Lerzolitas; 4: Harzburgitas-dunitas piroxénicas.

#### Análisis químico

La caracterización de la vermiculita se ha completado con el análisis químico y la capacidad de cambio, en base a los cuales se ha calculado la fórmula cristaloquímica correspondiente.

Excepto para el Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O, determinados por fotometría de llama, y para la sílice, determinada por colorimetría con molibdato amónico en muestra aparte, se empleó la absorción atómica para el resto de los elementos. Asimismo se realizó un análisis químico sobre muestra calcinada a 1.000° C mediante un sistema KeveX.

La determinación de la capacidad de cambio de la vermiculita se obtuvo saturando la muestra con acetato amónico 1N a pH = 7 y valorando el nitrógeno con un microkjeldahl.

#### Resultados

##### Mineralogía de la roca de caja

A partir del estudio petrográfico de la roca encajante se observan los procesos tectónicos y de serpentización sufridos por la misma. Estos fenómenos se manifiestan de forma diferente según los minerales a los que afectan.

La serpentina es el mineral predominante, habiendo borrado en gran parte tanto los minerales originales como las relaciones texturales entre éstos. Sin embargo, se puede decir que se trata de una roca originalmente de grano grueso, cuyos minerales se disponían formando una textura en mosaico, aún reconocible por las alineaciones de óxidos de hierro formados durante la serpentización y dispuestos a lo largo de los primitivos contactos entre los granos.

El olivino es el mineral menos frecuente, posiblemente debido a su mayor facilidad para transformarse a serpentina. Cuando aparece está afectado por proce-



esos de granulación cataclástica, alterándose a serpentina a favor de las fisuras así originadas en los cristales.

El clinopiroxeno es también escaso; en cambio predominan los cristales subidiomorfos de ortopiroxeno, que presentan con frecuencia curvamiento de las líneas de exfoliación o láminas de exolución deformadas. Estos hechos indican que tales fenómenos tectónicos se produjeron durante el ascenso y emplazamiento del macizo (Aguilar *et al.*, 1973).

La espinela parda es el principal mineral accesorio, hallándose además en pequeña proporción magnetita y cromita.

**Resultados**

El análisis mineralógico mediante DRX de la muestra total correspondiente al dique-bolsada refleja que está compuesto por cuarzo, plagioclasa cálcica (labradorita-bitownita), vermiculita y pequeñas cantidades de interstratificado mica-vermiculita y de mica degradada (reflexión a 10,4-10,6 Å).

El estudio específico de los minerales laminares ha permitido comprobar el carácter trioctaédrico de la vermiculita. El tratamiento térmico a 550° C produce la desaparición del pico a 14 Å, si bien en algunos casos queda un pequeño pico residual tras este tratamiento. Esto indica que no existen cantidades significativas de clorita en las muestras. La solvatación con etilenglicol (EG), en fase vapor a 65° C, produce en ocasiones una ligera expansión hasta 15,6 Å, pero esta reflexión, cuando se produce, es de pequeña intensidad en comparación con la que permanece a 14 Å. La intensidad de este efecto a 15,6 Å no aumenta apreciablemente con el tiempo de tratamiento (se ha prolongado hasta 15 días), ni con la utilización de etilenglicol líquido.

Por su parte, el tratamiento con dimetilsulfóxido (DMSO), en fase vapor a 65° C, produce el desdoblamiento de la reflexión a 14 Å, apareciendo además de ésta otra a 17,6 Å, de menor intensidad. Cuando se emplea DMSO líquido a 70° C, la intensidad del efecto a 14 Å disminuye notablemente, produciéndose un mayor hinchamiento del mineral vermiculítico (hasta 18,01 Å). Estos datos están de acuerdo con el comportamiento de la vermiculita al ser sometida a este tratamiento (Sánchez Camazano y González García, 1968).

Las muestras saturadas con Mg<sup>++</sup> presentan un comportamiento normal frente a los distintos tratamientos, no observándose ya en ningún caso el ligero hinchamiento con EG que se producía en las muestras naturales.

Por el contrario, es de destacar el comportamiento anómalo de estas vermiculitas al ser homoionizadas con K<sup>+</sup>. El tratamiento repetido con soluciones 1N de KCl no produce la transformación de la estructura de

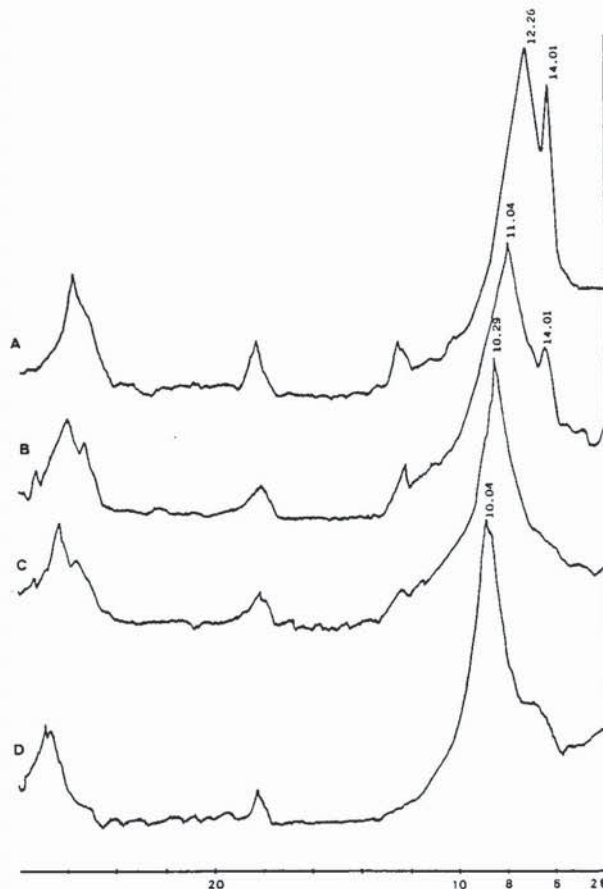


Fig. 2.—Diagramas de difracción de rayos-X de la vermiculita homoionizada con K<sup>+</sup>. A) Temperatura ambiente; B) A 250° C; C) A 350° C; D) A 550° C.

la vermiculita en una estructura tipo mica (reflexión a 10 Å), como sería de esperar. En su lugar se obtiene una reflexión ancha centrada alrededor de los 12 Å, permaneciendo en parte la reflexión a 14 Å correspondiente a la vermiculita. El calentamiento a 110° C de las muestras no produce variación apreciable de estos espaciados. Sin embargo, a temperaturas progresivamente superiores (fig. 2), se aprecia claramente el desplazamiento de ambas reflexiones hacia los 10 Å, desapareciendo casi totalmente el efecto a 14 Å, que queda reducido a una pequeña inflexión. Este anómalo comportamiento puede explicarse como debido a la presencia de hidróxidos interlaminares (Barnhisel, 1977). La elevada temperatura requerida para obtener el colapsamiento a 10 Å indicaría, según este mismo autor, un elevado grado de ocupación del espacio interlaminares de la vermiculita por estos hidróxidos. De hecho, como se aprecia en la fig. 2D, incluso a 550° C, la reflexión a 10 Å es bastante ancha y abierta hacia ángulos bajos, lo que corrobora esta dificultad para contraer. Los datos de DRX se resumen en la tabla 1.



Tabla 1.—Variación del espaciado (Å) de la reflexión (002) de la vermiculita de Carratraca con los distintos tratamientos

	A.O.	110° C	250° C	350° C	550° C	EG	DMSO
Natural .....	14,01	14,01	14,01	14,01	10,1	15,6 14,01	17,6 (18,01)
M <sup>++</sup> .....	14,01	14,01	14,01	14,01	10,1	14,01	—
K <sup>-</sup> .....	12,26 14,01	12,26 14,01	11,04 13,58	10,29	10,04	12,26 14,10	—

A.O. = Agregado orientado.  
EG = Etilenglicol.  
DMSO = Dimetilsulfóxido.  
Mg<sup>++</sup>, K<sup>-</sup> = Saturada con Mg o K.

La presencia y naturaleza de los hidróxidos interlaminares se ponen de manifiesto claramente en la curva de ATD (fig. 3). En general, la curva de ATD se corresponde con las de otras vermiculitas dadas en la bibliografía (Barshad, 1948; Cole y Hosking, 1957; Walker y Cole, 1957; Mackenzie, 1970). Sin embargo, a 590° C se observa un efecto endotérmico muy acusado, que corresponde a capas brucíticas interlaminares presentes en la vermiculita (Cole y Hosking, 1957; Mackenzie, 1970).

El estudio termogravimétrico de la vermiculita (fig. 3) muestra una pérdida en peso de un 18% hasta 1.100° C, produciéndose la deshidratación en tres etapas, que se corresponden respectivamente a las pérdidas del agua higroscópica o de humedad (aproximadamente entre 90-115° C), del agua unida a los cationes interlaminares y, por último, de los grupos (OH)<sup>-</sup> ligados a los cationes en coordinación octaédrica (aproximadamente entre 600 y 900° C).

El espectro de infrarrojos de la vermiculita (fig. 4) está de acuerdo con el carácter trioctaédrico de la

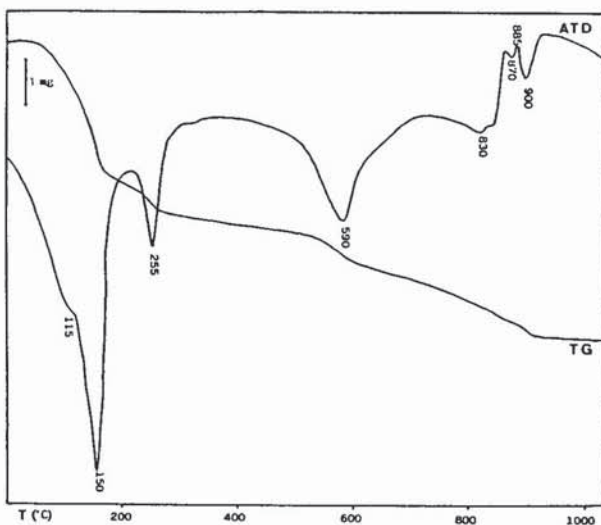


Fig. 3.—Análisis térmico diferencial y termogravimétrico de la vermiculita de Carratraca (35,55 mg; 15° C/min.).

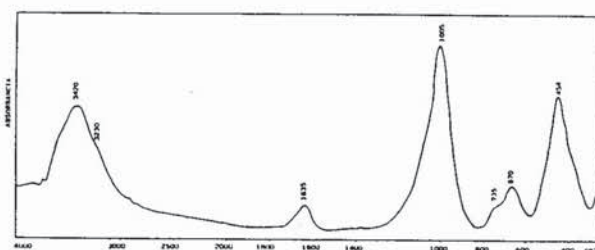


Fig. 4.—Espectro de absorción de infrarrojos de la vermiculita natural.

misma (Van Der Marel y Beutelspacher, 1976) y no presenta diferencias apreciables con los de otras vermiculitas de similar procedencia geológica (López González y Barrales, 1972; Justo Erbez *et al.*, 1983; Luque *et al.*, 1985).

En la tabla 2 se recogen los análisis químicos de la vermiculita, realizados con el sistema Kevex asociado a un microscopio electrónico marca ISI, y mediante las técnicas de vía húmeda anteriormente descritas, concordando con los datos para otras vermiculitas asociadas a rocas ultrabásicas. En contraposición, la capacidad de cambio obtenida para esta vermiculita (76 meq/100 g) resulta bastante baja, no sólo con respecto a otras vermiculitas relacionadas genéticamente (Justo Erbez, 1984), sino también en comparación con la capacidad de cambio generalmente aceptada para las vermiculitas (100-180 meq/100 g) (Walker, 1972 y 1975). Este hecho se explica si tenemos en cuenta que el espacio interlaminar de la vermiculita estaba ocupado en gran parte por capas brucíticas, las cuales pueden considerarse no cambiables, rebajando así considerablemente la capacidad de cambio real de la vermiculita.

A partir del análisis químico y de la capacidad de cambio se ha calculado la fórmula cristalocímica de la vermiculita, siguiendo los criterios establecidos por Foster (1963):

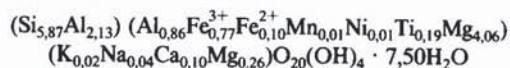




Tabla 2.—Composición química mediante análisis por vía húmeda (V.H.) y por KEVEX de la vermiculita de Carratraca

	V.H.	KEVEX
SiO <sub>2</sub> .....	37,00	37,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	15,86	16,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,52	7,56*
FeO .....	0,94	
MnO .....	0,05	n.d.
MgO .....	18,96	18,46
Ca) .....	0,52	n.d.
Na <sub>2</sub> O .....	0,12	n.d.
K <sub>2</sub> O .....	0,14	n.d.
TiO <sub>2</sub> .....	1,62	1,87
Pérd. calcinación .....	17,93	
NiO .....	0,05	n.d.
ZnO .....	trazas	n.d.
CuO .....	0,00	n.d.
CoO .....	0,00	n.d.
Total .....	99,71	99,99
Cap. cambio .....	76 meq/100 g	

Cationes por fórmula unidad (32 oxígenos)

C. tetraédrica	
Si .....	5,87
Al .....	2,13
C. octaédrica	
Al <sup>3+</sup> .....	0,86
Fe <sup>3+</sup> .....	0,77
Fe <sup>2+</sup> .....	0,10
Mn .....	0,01
Ni .....	0,01
Ti .....	0,19
Mg .....	4,06
Interlaminar	
Na .....	0,04
K .....	0,02
Ca .....	0,10
Mg .....	0,26
Mg** .....	0,16

\* Fe total determinado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

\*\* Mg correspondiente a capas brucíticas.

n.d.: No determinable, por encontrarse en cantidad inferior al límite de sensibilidad del método.

Una vez ajustado el magnesio perteneciente a la capa octaédrica y a la interlaminar resulta un exceso de 0,16 átomos de magnesio. Este exceso de magnesio, que no es interlaminar ni octaédrico, debe interpretarse como correspondiente a las capas brucíticas interlaminares, que, como se ha mencionado anteriormente, no son cambiables.

### Discusión

La discusión geológica de la vermiculita, cuyas características se han descrito en los apartados ante-

riores, corresponden al tipo definido por Basset (1963) como asociadas a rocas básicas y ultrabásicas. En este caso, y como ya se ha mencionado, la vermiculita está contenida en un dique-bolsada pegmatítico que encaja en una roca ultrabásica intensamente serpentizada. Este serpentización se produjo, en parte, durante el proceso de emplazamiento del macizo (autometamorfismo por debajo de 500° C, aproximadamente) y, el resto, por soluciones supergénicas de origen meteórico, sin que existan criterios petrográficos que permitan diferenciarlas.

Diversos autores (por ejemplo, Aguilar *et al.*, 1973) han propuesto la inexistencia de una relación genética directa entre los macizos ultrabásicos y las intrusiones ácidas que aparecen en ellos. Sin embargo, y además de la relación espacial que existe entre ambos (estos diques y bolsadas con vermiculita se presentan exclusivamente en las rocas peridotíticas), de los estudios realizados hasta ahora, se evidencia una relación mineralógica y composicional entre los diques y su roca de caja. Así, en ninguno de los yacimientos de vermiculita estudiados en los macizos de Ojén y Ronda (García Vicente y Rodríguez Pascual, 1966; Justo Erbez, 1984; Luque *et al.*, 1985), se ha encontrado cuarzo como constituyente de estos diques. Por el contrario, en el macizo de Carratraca sí aparece cuarzo en los diques con vermiculita (en proporción cercana al 30%). Si tenemos en cuenta que en los macizos de Ojén y Ronda el carácter ultrabásico es más acusado que en el de Carratraca (Aguilar *et al.*, op. cit.), cabría esperar, como de hecho sucede, que las manifestaciones intrusivas tardías derivadas de los mismos fueran más básicas.

Por todo ello, y aunque evidentemente sean necesarios en este aspecto estudios más detallados, los datos de los que se dispone en la actualidad hacen pensar en una posible relación genética directa entre tales diques y las rocas ultrabásicas que los contienen.

En cuanto a la génesis de la vermiculita, debe descartarse una génesis primaria por razones tanto mineralógicas como geoquímicas. Entre las primeras deben considerarse la presencia de mica degradada e interestratificados mica-vermiculita asociados a la vermiculita, lo que parece indicar que ésta se ha formado a partir de la transformación de mica, bien por procesos hidrotermales o bien por fenómenos meteóricos posteriores. En cuanto a las razones geoquímicas, es un hecho demostrado experimentalmente (Basset, 1959; Hoda y Hood, 1972) que la formación de vermiculita queda inhibida por la presencia en el medio de cantidades muy pequeñas de metales alcalinos. En este sentido, el entorno geoquímico durante la intrusión de la pegmatita no sería adecuado para que se pudiese formar vermiculita.

Admitiendo, por tanto, el origen de la vermiculita a partir de una mica primaria, los aspectos relacionados



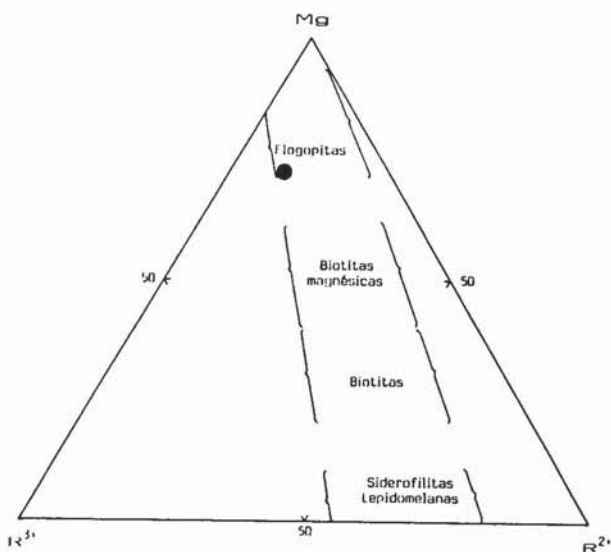


Fig. 5.—Representación de la relación magnesio/cationes divalentes/cationes trivalentes de la capa octaédrica de la vermiculita estudiada en el diagrama de Foster (1963).

con la naturaleza de la mica y del proceso de transformación deben ser considerados.

En primer lugar se puede llegar a una aproximación sobre la composición de la mica precursora a partir de la relación  $Mg:R^{2+}:R^{3+}$  de la capa octaédrica de la vermiculita (Foster, 1963; Brigatti y Poppi, 1980). La representación de esta relación para la vermiculita estudiada, en los diagramas propuestos por estos autores, refleja su procedencia de una mica trioctaédrica con elevado contenido en magnesio, proyectándose dentro del campo de las flogopitas (fig. 5). Esta composición de la mica originaria sería compatible con la casi total transformación de la misma a vermiculita, presentando un contenido en hierro suficientemente bajo para no impedir la formación de vermiculita y, a la vez, suficientemente alto para que en el proceso de transformación se produjeran los interstratificados mica-vermiculita (Hoda y Hood, 1972).

En lo que respecta a la naturaleza del proceso de vermiculitización, no existe ninguna evidencia de que hayan actuado procesos hidrotermales posteriores a la intrusión pegmatítica que pudieran afectar a ésta ni a la roca de caja. Por otra parte, los datos de estabilidad del propio mineral (Roy y Romo, 1957; Komar-nessi y Roy, 1981) parecen descartar la génesis de vermiculita en condiciones hidrotermales, al menos a temperaturas superiores a los 300° C. Por ello debe considerarse que la génesis de la vermiculita está relacionada con procesos supergénicos debidos a la acción de soluciones meteóricas sobre la flogopita. Estos procesos supergénicos de vermiculitización están sin duda ligados genética y temporalmente con la serpentinización meteórica de las peridotitas, ya que durante la

formación de serpentina a partir de olivino y, en menor extensión, de piroxenos, se produce una importante liberación de magnesio. Este magnesio se libera fundamentalmente como  $Mg(OH)_2$ , cuya solubilidad en las aguas meteóricas es relativamente baja. Por tanto, la serpentinización de las rocas peridotíticas constituiría una importante fuente de magnesio (Robert, 1968), favoreciendo de este modo la transformación a vermiculita de la mica. Dada la intensidad del primer proceso, como se refleja en la casi total serpentinización de la roca de caja, sería predecible la existencia de una cantidad importante de  $Mg(OH)_2$  como tal en estas soluciones supergénicas, que se dispondría en el espacio interlaminaar de la vermiculita en forma de capas brucíticas. Esta interpretación se ve apoyada por los datos obtenidos en el análisis mineralógico de la vermiculita estudiada.

## Conclusiones

De todo lo anteriormente expuesto puede concluirse que la formación de la vermiculita se ha producido a partir de una mica trioctaédrica de composición flogopítica, como consecuencia de la acción sobre la misma de soluciones meteóricas ricas en magnesio. Este magnesio sería liberado durante el proceso de serpentinización, por lo que puede decirse que ambos procesos (serpentinización y vermiculitización) han sido prácticamente sincrónicos y están relacionados genéticamente.

A partir de este estudio y de los precedentes (Justo Erbez, 1984; Luque *et al.*, 1985) resulta evidente la dependencia de las características de la vermiculita con respecto a su proceso genético. Parece deducirse que los procesos hidrotermales de vermiculitización dan lugar a la formación de verdaderas vermiculitas y de vermiculitas «hinchables». Las características de las vermiculitas de génesis meteórica relacionadas con procesos de serpentinización, están en función de la extensión de estos procesos (volumen de roca alterada) y, por tanto, de la cantidad de magnesio liberado; dependiendo de este factor, se formarán vermiculitas, s.s., o, cuando la serpentinización sea muy intensa, vermiculitas con propiedades intermedias entre las de las auténticas vermiculitas y las de las cloritas. No obstante, estas aparentes correlaciones deben ser más ampliamente comprobadas antes de proceder a su generalización.

## Referencias

- Aguilar, M. J.; Aparicio, A.; Crespo, V.; Fúster, J. M.; Reyes, J. L., y Sagredo, J. (1973): Investigación de níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre la geología y petrogénesis. *Bol. Geol. Min.*, 84: 41-66.



- Barnhisel, R. I. (1977): Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: *Mineral in Soil environments* (J. B. Dixon et al., eds.). Soil Science Society of America, 331-356.
- Barshad, I. (1948): Vermiculite and its relation to biotite as revealed by base exchange reactions, x-ray analyses, differential thermal curves, and water content. *Amer. Mineral.*, 33: 655-678.
- Basset, W. A. (1959): The origin of the vermiculite deposit at Libby, Montana. *Amer. Mineral.*, 44: 282-299.
- Basset, E. A. (1963): The geology of vermiculite occurrences. *Proc. 10th Natl. Conf. Clays and Clay minerals*, 61-69.
- Brigatti, L. y Poppi, M. F. (1980): Vermiculite and its relation to parent materials as revealed by chemical features. *Miner. Petrol. Acta.*, 24: 123-134.
- Cole, W. F. y Hosking, J. S. (1957): Clay mineral mixtures and interstratified minerals. In: *The differential thermal investigation of clays* (R. C. Mackenzie, ed.). Mineralogical Society, London, 248-274.
- Foster, M. D. (1963): Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites. *Proc. 10th Natl. Conf. Clays and Clay Min.*, 70-89.
- García Vicente, J. y Rodríguez Pascual, M. C. (1966): Estudio de la vermiculita de Estepona. *Anales Edaf. Agrobiol.*, 25: 647-659.
- Hoda, S. N. Y Hood, W. C. (1972): Laboratory alteration of trioctahedral micas. *Clays Clay Miner.*, 20: 343-358.
- I.G.M.E. (1976): Hoja n.º 1.052 (Alora) del Mapa Geológico de España a E. 1:50.000. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- I.G.M.E. (1978): Estudio de las posibilidades mineras de los macizos ultrabásicos de Málaga. I: Fase previa para la investigación de níquel, Serranía de Ronda-Carratraca (Málaga). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Justo Erbez, A.; Pérez Rodríguez, J. L., y Maqueda, C. (1983): Estudio mineralógico de una vermiculita de Ojén (Málaga). *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 7: 59-67.
- Justo Erbez, A. (1984): *Estudio físico-químico y mineralógico de vermiculitas de Andalucía y Badajoz*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 408 pp.
- Komarnessi, S. y Roy, R. (1981): Hydrothermal transformation in candidate overpack materials and their effect on cesium and strontium sorption. *Nucl. Technol.*, 54: 118-122.
- López González, J. D. y Barrales, J. M. (1972): Caracterización y propiedades de una vermiculita de Benahavis (Málaga). *Anales de Química*, 68: 247-262.
- Luque del Villar, F. J.; Rodas, M., y Doval, M. (1985): Mineralogía y génesis de los yacimientos de vermiculita del macizo de Ojén (Serranía de Ronda, Málaga). *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 8: 229-238.
- Mackenzie, R. C. (1970): Simple phyllosilicates based on gibbsite and brucite-like sheets. In: *Differential thermal analysis* (R. C. Mackenzie, ed.). Academic Press, London, 1: 497-537.
- Robert, G. (1968): Etude experimentale sur les processus de vermiculitisation des micas trioctédriques. Bilan de l'évolution et conditions de genese des vermiculites. *Bull. Franc. Argiles*, 20: 153-171.
- Roy, R. y Romo, L. A. (1957): Weathering studies. 1: New data on vermiculite. *J. Geol.*, 65: 603-610.
- Sanchez Camazano, M. y González García, M. (1968): Complejos de adsorción de la vermiculita con dimetilsulfóxido. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 27: 217-229.
- Van Der Marel, H. W. y Beutelspacher, H. (1976): *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier, Amsterdam, 396 pp.
- Walker, G. F. (1972): Vermiculite minerals. In: *The X-Ray identification and crystal structures of clay minerals*. (G. F. Brown, ed.). Mineralogical Society, London, 297-324.
- Walker, G. F. (1975): Vermiculites. In: *Soil components, vol. 2, Inorganic components* (J. E. Gieseking, ed.). Springer Verlag, New York, 155-189.
- Walker, G. F. y Cole, W. F. (1957): The vermiculite minerals. In: *The differential thermal investigation of clays* (R. C. Mackenzie, ed.). Mineralogical Society, 191-206.

Recibido el 9 de junio de 1986  
 Aceptado el 25 de noviembre de 1986