

# Origen de escapolitas asociadas a doleritas triásicas del Norte de la provincia de Cádiz

*Scapolites origin associated to Triassic dolerites from North of Cádiz province*

D. Morata (\*), S. Domínguez-Bella (\*) y S. Morales (\*\*)

(\*)Dpto. Cristalografía, Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica, Petrología y Geoquímica. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real, Cádiz.

(\*\*) I.A. C. T. y Dpto. Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias. C SIC-Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18002 Granada.

## ABSTRACT

Scapolites are present in some doleritic tectonic blocks ("ophites") in the External Zones of the Betic Cordilleras, in Northern of Cádiz province. These scapolites fill veinlets and replace plagioclases from the dolerites in the proximity of fissures. Scapolites ( $Me_{26-29}$ ) are partial or totally replaced by low-iron prehnites ( $X_{Fe^{3+}} = 0.13-0.66$ ). Fluid inclusions found in scapolites show high salinity (40-55% wt. eq.) multications (Na-Ca-K?) aqueous fluids. No volatil phases has been detected in microthermometric runs. Temperatures of homogeneization range from 380 to 540°C. These scapolites filling dolerite veinlets are interpreted as a result of magma-evaporite interactions during dolerite emplacement into the Triassic evaporitic formations.

**Key words:** Scapolite, magma-evaporite interaction, high salinity multications aqueous fluid inclusions, External Zones, Betic Cordilleras.

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1527-1530  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En los procesos evolutivos de los magmas emplazados en ambientes corticales su composición química y mineralógica final puede verse modificada como consecuencia de las posibles interacciones de los materiales corticales suprayacentes al área fuente, bien durante el ascenso de los magmas, bien durante su emplazamiento en niveles corticales.

En los sedimentos arcilloso-yesíferos del Trías Sudibérico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (ZECB), es frecuente la presencia de bloques tectónicos de pequeñas dimensiones de basaltos y doleritas (localmente conocidos como "ofitas"), cuyas características geoquímicas, relaciones de campo y edades K/Ar apuntan a una génesis durante el Triásico-Juráico en un ambiente de intraplaca continental (Morata, 1993; Portugal-Ferreira *et al.*, 1995). El objetivo de este trabajo es el estudio de uno de estos bloques de doleritas en los que la presencia de escapolitas en fisuras se interpreta en términos de interacción entre el magma y los sedimentos evaporíticos en los que éste se emplazó. Las características químicas de estas escapolitas, así como el análisis de las inclusiones fluidas que contienen,

permitirán precisar las condiciones en las que esta interacción magma-evaporitas tuvo lugar.

## Contexto geológico y características petrológicas de las doleritas

El área estudiada se encuentra ubicada en las estribaciones occidentales de las ZECB, al límite entre las provincias de Cádiz y Sevilla. Está constituida por un conjunto de bloques tectónicos de doleritas de dimensiones hectométricas, inmersos entre los sedimentos arcillosos-evaporíticos del Trías Sudibérico.

Las características petrográficas de las doleritas (textura dolerítica, piroxeno augítico, pseudomorfo de ortopiroxeno y presencia de cuarzo modal en los términos más diferenciados) permiten enmarcarlas dentro del magmatismo toleítico definido en las ZECB por Morata y Puga (1993), Morata (1993) y Portugal *et al.* (1995). Superpuestas a las paragénesis ígneas se observan transformaciones metamórficas de muy bajo grado, con neof ormación de prehnita, actinolita, clorita, albita y cuarzo, lo que permite caracterizar estas transformaciones como propias de la facies prehnita-actinolita. En todos

los casos observados, las escapolitas aparecen rellenando venas y fisuras de orden milimétrico a centimétrico, sin ninguna orientación espacial determinada. También aparecen escapolitas pseudomorfizando parcialmente a las plagioclasas de las doleritas en las proximidades de las fisuras.

## Características petrográficas de las escapolitas

En las fisuras de mayor tamaño se llegan a desarrollar cristales de escapolita individuales idiomórficos, transparentes, de hasta 3 cm. En ocasiones estos cristales presentan un color blanco mate, debido a la pseudomorfosis (total o parcial) por prehnita. Las observaciones realizadas mediante el microscopio electrónico de barrido (JSM-820, SCCYT, Universidad de Cádiz) ponen de manifiesto el carácter idiomórfico de estos cristales (Figura 1a), así como la presencia de caras cristalinas corroídas (Figura 1b). En el estudio mediante microscopía óptica, se observa una distribución en parches de las masas de prehnita, dentro de los cristales de escapolita; algunos de ellos, con crecimientos orientados y otros desarrollándose radialmente. En la mayoría de los ca-

Los análisis de las escapolitas (Tabla 1) han sido realizados mediante microsonda electrónica CAMECA-CAMEBAX (SSTT, Universidad de Granada). El cálculo de la fórmula estructural se ha realizado siguiendo el modelo estequiométrico propuesto por Shaw (1960)  $W_4 Z_{12} O_{24} \cdot R$ , donde W puede ser Ca, Na y K; Z: Al y Si, y R: Cl, CO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>. Todos los análisis realizados sobre las escapolitas presentan valores de  $W = Ca + Na + K \sim 4.00$ , confirmando la bonanza de los mismos. Los contenidos en K de estas escapolitas son muy bajos, con valores de  $K / (Ca + Na + K) \sim 0.01$ . Puesto que no ha sido posible determinar los contenidos en CO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub> se asume que éstos corresponden al valor de 1-Cl.

**Características químicas de las escapolitas**

Contrariamente a lo observado por Durand-Wackenheim y Thiébaud (1986) en escapolitas de ofitas de Pirineos, no se observan variaciones en el componente meionita (Me) de centro a borde, y, tal y como se puede ver en la Figura 2, las escapolitas estudiadas en este trabajo (al igual que lo observado por Vanko y Bishop, 1982) presentan contenidos en Al y Cl ligeramente superiores al límite estequiométrico establecido para la solución sólida marialita-meionita, con valores de Me dentro del rango de  $Me = 26-29$ , ligeramente inferiores al de las doleritas triásicas de Pirineos, lo que permite clasificarlas como dipiro, según la nomenclatura propuesta por Shaw (1960). Igualmente, las mayores concentraciones en Cl respecto a las escapolitas de Pirineos se traducen en menores contenidos en CO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>. Se observa una correlación negativa entre los contenidos en Cl y el equivalente en anortita (Eq. An.) en las escapolitas analizadas.

Los análisis realizados sobre las prehnitas que pseudomorfizan los cristales de escapolita muestran que se trata de una prehnita muy pobre en hierro, con valores de  $X_{Fe^{3+}} (= 100 \times Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Al^{IV}))$  que varían entre 0.13 y 0.66.

| ANALISIS  | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 18           | 19           | 20           |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO2  | 55,98        | 56,02        | 56,06        | 56,19        | 55,86        | 55,56        | 55,73        | 55,99        |
| TiO2  | 0,02         | 0,00         | 0,02         | 0,01         | 0,00         | 0,02         | 0,00         | 0,00         |
| Al2O3   | 22,83        | 22,53        | 22,53        | 22,52        | 22,68        | 22,49        | 22,62        | 22,76        |
| Cr2O3   | 0,00         | 0,00         | 0,02         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| FeO   | 0,12         | 0,19         | 0,16         | 0,11         | 0,16         | 0,15         | 0,19         | 0,13         |
| MnO   | 0,00         | 0,02         | 0,02         | 0,00         | 0,01         | 0,00         | 0,02         | 0,00         |
| MgO   | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| CaO   | 7,26         | 7,07         | 7,08         | 6,72         | 7,26         | 7,28         | 7,36         | 7,35         |
| Na2O  | 10,12        | 10,16        | 10,16        | 10,32        | 10,24        | 10,21        | 10,16        | 10,08        |
| K2O   | 0,27         | 0,27         | 0,26         | 0,25         | 0,28         | 0,25         | 0,27         | 0,28         |
| Cl  | 3,15         | 3,17         | 3,21         | 3,24         | 3,21         | 3,21         | 3,23         | 3,17         |
| <b>Total</b>  | <b>99,75</b> | <b>99,42</b> | <b>99,54</b> | <b>99,36</b> | <b>99,69</b> | <b>99,17</b> | <b>99,58</b> | <b>99,77</b> |
| <i>Fórmula estructural calculada sobre la base de (Si+Al)=12.</i> |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Si  | 8,104        | 8,141        | 8,143        | 8,150        | 8,117        | 8,124        | 8,117        | 8,113        |
| Ti  | 0,002        | 0,000        | 0,002        | 0,001        | 0,000        | 0,002        | 0,000        | 0,000        |
| Al  | 3,896        | 3,859        | 3,857        | 3,850        | 3,883        | 3,876        | 3,883        | 3,887        |
| Cr  | 0,000        | 0,000        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        |
| Fe2+  | 0,015        | 0,023        | 0,019        | 0,013        | 0,019        | 0,018        | 0,023        | 0,016        |
| Mn2+  | 0,000        | 0,002        | 0,002        | 0,000        | 0,001        | 0,000        | 0,002        | 0,000        |
| Mg  | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        |
| Ca  | 1,126        | 1,101        | 1,102        | 1,045        | 1,130        | 1,141        | 1,149        | 1,141        |
| Na  | 2,842        | 2,862        | 2,862        | 2,901        | 2,883        | 2,895        | 2,869        | 2,831        |
| K   | 0,050        | 0,050        | 0,048        | 0,047        | 0,052        | 0,047        | 0,050        | 0,052        |
| Cl  | 0,772        | 0,780        | 0,791        | 0,797        | 0,791        | 0,795        | 0,796        | 0,779        |
| <b>%Me</b>  | <b>28,28</b> | <b>27,89</b> | <b>27,85</b> | <b>26,41</b> | <b>28,15</b> | <b>28,25</b> | <b>28,68</b> | <b>28,64</b> |
| <b>Eq. An.</b>  | <b>29,87</b> | <b>28,63</b> | <b>28,58</b> | <b>28,35</b> | <b>29,44</b> | <b>29,19</b> | <b>29,42</b> | <b>29,57</b> |
| <b>W</b>  | <b>4,02</b>  | <b>4,01</b>  | <b>4,01</b>  | <b>3,99</b>  | <b>4,07</b>  | <b>4,08</b>  | <b>4,07</b>  | <b>4,02</b>  |
| <b>(1-Cl)</b>   | <b>0,23</b>  | <b>0,22</b>  | <b>0,21</b>  | <b>0,20</b>  | <b>0,21</b>  | <b>0,20</b>  | <b>0,20</b>  | <b>0,22</b>  |

$$\%Me = 100 \cdot (Ca + Mg + Mn + Fe) / (Ca + Mg + Mn + Fe + K)$$

$$Eq. An. = 100(Al-3)/3$$

$$W = Ca + Na + K$$

Tabla 1.- Análisis de microsonda de escapolitas en fisuras.

Table 1.- Microprobe analyses for scapolites in veinlets.

**Caracterización de las inclusiones fluida**

En las escapolitas estudiadas se han encontrado algunas inclusiones fluidas a las cuales se les puede atribuir un carácter primario a partir de algunos criterios empíricos: distribución según planos de crecimiento, paralelas a la dirección de crecimiento o contenidas en cavidades con estrías de crecimiento según direcciones cristalográficas (Roedder, 1984). Las inclusiones son mayoritariamente trifásicas (vapor+líquido+halita), aunque en ocasiones aparecen también otros sólidos (silvina?, óxidos de Fe?, ...).

Debido a su reducido tamaño y escasez, sólo se disponen de algunos datos preliminares derivados del estudio microtermométrico, que se ha realizado con platina calentadora tipo CHAIXMECA (Laboratorio de inclusiones fluidas, Universidad de Granada). Los primeros resultados obtenidos apuntan hacia un sistema acuoso multicationico, mayoritariamente compuesto por Na-Ca- (K?). Durante el ciclo de enfriamiento no se ha detectado ningún cambio en la fase gaseosa, de lo que se deduce que la cantidad de volátiles del fluido está por debajo del límite de

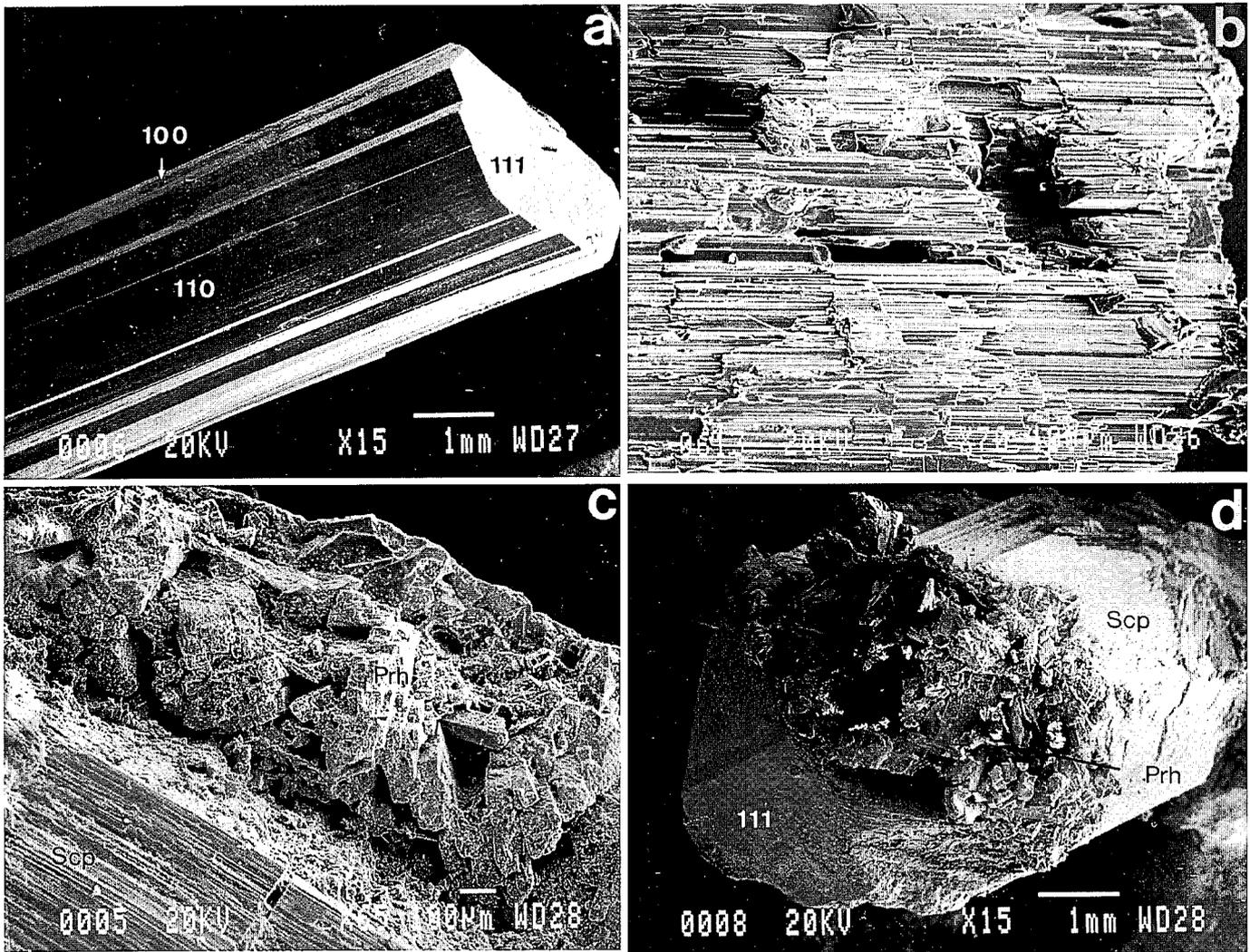


Fig. 1.- a) Cristal idiomórfico de escapolita en fisuras (M.E.B.) con desarrollo de caras prismáticas { 110 } y { 100 } y caras piramidales { 111 } . b) Detalle de la superficie corroída de los cristales de escapolita (M.E.B.). Escala horizontal = 100  $\mu$ m. c) Desarrollo de cristales de prehnita (Prh) sobre caras prismáticas de escapolita (Scp). d) Cristal de escapolita (Scp) con desarrollo desde su interior de un agregado de prehnita (Prh).

Fig. 1.- a) Idiomorphic crystal of scapolite in veinlets (SEM) with prismatic {110} and {100} and pyramidal {111} faces. b) Detail of corroded scapolite crystal surface (SEM). Scale = 100  $\mu$ m. c) Prehnite (Prh) overgrowth on scapolite (Scp) prismatic faces. d) Prehnite aggregate (Prh) growing into scapolite (Scp).

detección de la platina. Es de resaltar los altos contenidos en Ca de estas inclusiones, que en ocasiones bajan las temperaturas eutécticas del sistema hasta  $-65/-70^{\circ}\text{C}$ . Las salinidades son muy variables y están siempre dentro del intervalo 40-55 % eq. en peso. En cuanto a la temperatura de homogeneización, ésta viene definida en unas ocasiones por la fusión de la halita y en otros casos por la desaparición de la fase vapor. Los datos obtenidos varían entre  $380$  y  $540^{\circ}\text{C}$ , haciendo la salvedad de que en la mayoría de los casos las inclusiones decrepitan antes de la homogeneización.

#### Condiciones de génesis de las escapolitas

El desarrollo de escapolita rellenando fisuras, la escasa profundidad de emplazamiento de las doleritas y el amplio rango de temperatura de estabilidad de la escapolita hacen que la composición y génesis de las escapolitas estudiadas en este trabajo estén condicionadas por la composición de los fluidos. No obstante, se puede establecer una temperatura mínima de formación, deducida a partir de la presencia de prehnita pseudomorfizando los cristales de escapolita. Conforme a la red petrogenética propuesta por Frey *et al* (1991), la facies prehnita-

actinolita es estable en el rango  $T = 220-320^{\circ}\text{C}$  y  $P < 4.5$  kbar, bajo condiciones de muy baja  $a_{\text{CO}_2}$ .

Los estudios experimentales realizados ponen de manifiesto la posibilidad de sintetizar escapolita a partir de fluidos con poco o escaso  $\text{CaCO}_3$ , ya que altos contenidos en  $\text{CaCO}_3$  generarían escapolitas con mayor componente meionítico (Vanko & Bishop, 1982). En este sentido, el reducido contenido posible en  $\text{CO}_3$  ( $1-(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ ) en los análisis de las escapolitas es coherente con sus contenidos en %Me. Además, la ausencia de calcita paragenética con escapolita indicaría bajas

a CO<sub>2</sub> y, por consiguiente, poco CO<sub>3</sub> en los fluidos generadores de las escapolitas. Por otro lado, el equivalente en anortita (Eq. An<sub>28-30</sub>) es intermedio entre los observado por Oliver *et al.*, (1994) y Vanko y Bishop (1982) y, según Oliver *et al.*, (1994) escapolitas con estos valores de Eq. An estarían en equilibrio con fluidos de hasta el 30% mol. en NaCl a temperaturas del orden de 500-600°C. Estos datos de la bibliografía referidos a la formación de escapolitas como consecuencia de la interacción entre magmas básicos y evaporitas son similares a los obtenidos en este trabajo, en donde se llegan a alcanzar salinidades de 40-55% eq. en peso y temperaturas de homogeneización de hasta 540°C. Estos fenómenos de interacción entre magmas y evaporitas ya fueron descritos por Morata (1993) en las facies de borde de algunos afloramientos de doleritas de las ZECB en el área de Cuevas del Campo (Granada) en donde se observaba un fuerte enriquecimiento en Sr, K, Rb y Ba en la composición global de estas rocas.

**Conclusiones**

Para la formación de escapolitas se precisan fluidos enriquecidos en Na y Cl (además de S y CO<sub>2</sub>, no analizados en este trabajo). Este Na y Cl podrían ser de origen magmático o, por el contrario, derivar de las evaporitas presentes en los sedimentos del Triás Sudibérico en los que se emplazan las doleritas y basaltos triásicos. Puesto que los contenidos en Cl de líquidos básicos toleíticos es insuficiente para justificar la formación de escapolitas en fisuras, sería necesario invocar un aporte de estos elementos a partir de los sedimentos evaporíticos. La intrusión de estos magmas básicos en sedimentos evaporíticos permitiría la interacción magma- evaporitas, con circulación de fluidos enriquecidos en OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, S<sup>=</sup>, Na<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>, necesarios para la formación de las escapolitas. Los estudios de inclusiones fluidas presentes en las escapolitas muestran que los fluidos generadores de las escapolitas eran altamente salinos (40-55% eq. en peso), compuestos fundamentalmente por Na-Ca-(K) y carentes de volátiles.

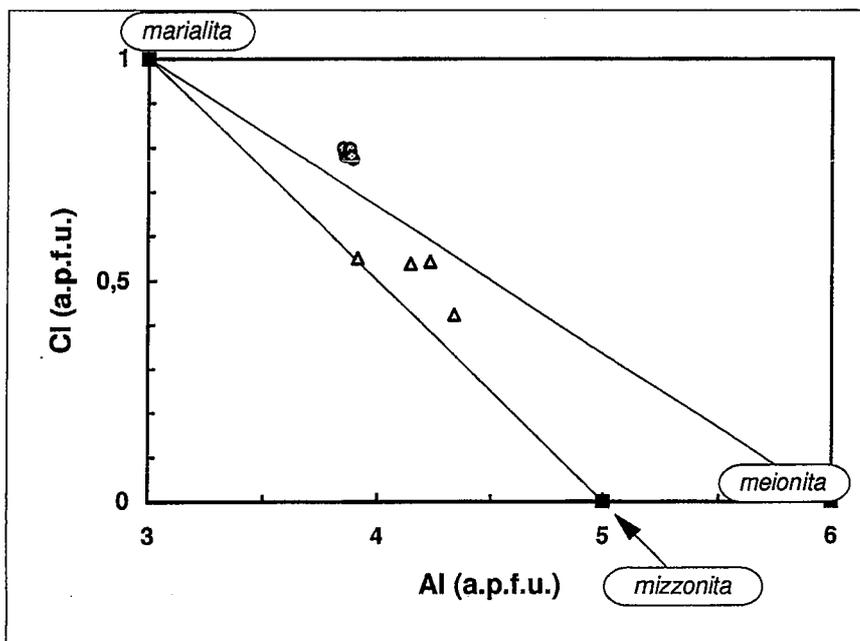


Fig. 2.- Diagrama Al vs Cl para las escapolitas estudiadas en este trabajo (círculos). Se han proyectado las escapolitas de Pirineos (triángulos) para su comparación (datos de Durand- WackenheymThiébaud, 1986).

Fig. 2.- Al vs Cl diagram for scapolites from this work (circles). Scapolites from Pyrenean outorops (triangles) have been plotted for comparison (data from Durand Wackenheym y Thiébaud, 1986).

Los valores máximos obtenidos para las temperaturas de homogeneización son del orden de 540°C. Estos valores son coherentes con los establecidos por Vanko y Bishop (1982) y Oliver *et al.*, (1994) para la génesis de escapolitas en gabros y doleritas como consecuencia de la interacción entre magmas y evaporitas.

**Agradecimientos**

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación de la CICYT PB92-0952 y Grupos de Investigación de la Junta de Andalucía 4028, 4072 y 6005. Nuestro agradecimiento a D. Emilio Sastre Domínguez, por facilitarnos la localización de los afloramientos.

**Referencias**

Durand-Wackenheym, Ch. & Thiébaud, J. (1986). *Bull. Soc. géol. France*, 8, 629-635.  
 Frey, M.; Capitani, C. de & Liou, J.G. (1991). *J. Metamorphic. Geol.*, 9, 497-509.  
 Morata, D. (1993). *Tesis Doctoral Unív. Granada*, 342 pp.  
 Morata, D. y Puga, E. (1993). *BoL Soc. Esp. Miner.*, 15, 175-187.  
 Oliver, N.H.S.; Rawling, T.J.; Cartwright, I. & Pearson, P.J. (1994). *J. Petrol.*, 35, 1455-1491.  
 Portugal-Ferreira, M.; Morata, D.; Puga, E.; Demant, A. y Aguirre, L. (1995). *Estudios geol.*, 51, 109-118  
 Roedder, E. (1984). *Mineral. Soc. of Amer. Rev. in Mineralogy* vol. 12, 644 pp.  
 Shaw, D.M. (1960). *J. Petrol.*, 1, 218-260  
 Vanko, D.A. y Bishop, F.C. (1982). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 81, 277-289.