

**SIGNIFICADO PETROLOGICO DE CORDIERITA,
SILLIMANITA Y ANDALUCITA EN MIGMATITAS
Y GRANITOS DE PLASENCIA - BEJAR Y AREAS
ADYACENTES (Salamanca-Cáceres)**

J. M. UGIDOS*

RESUMEN.—En este trabajo se consideran los principales aspectos petrográficos de cordierita, sillimanita y andalucita en granitos y migmatitas del área Béjar-Plasencia, llegándose a la conclusión de que los dos primeros minerales se forman durante condiciones de metamorfismo progresivo y su presencia en los granitos tiene distinto significado. En unos casos representan “resisters” al proceso anatético y en otros constituyen xenocristales.

La andalucita aparece como derivada, en parte, de la transformación de la cordierita durante un proceso de metasomatismo potásico, ya que su aparición coincide con el desarrollo de este fenómeno y en parte con posible origen magmático. En un caso aislado se encuentra aparentemente relacionada con un proceso de transformación de estauroлита.

SUMMARY.—This paper deals with the most important petrographical aspects of sillimanite, cordierite and andalucite in granites and migmatites from the Béjar-Plasencia zone. Conclusions are that cordierite and sillimanite are developed under progressive metamorphic conditions and its occurrence in granites has two different significations. In some cases they are “resisters” to the anatectic process and in others they occur as xenocrists.

Andalucite occurs as partly derived from cordierite breakdown caused by a potassium metasomatism and partly from a possible magmatic cristallization. In an isolated case andalucite is apparently related with staurolite breakdown.

INTRODUCCION

En trabajos anteriores se ha hecho referencia (UGIDOS, 1974 b) al estudiar las características petrográficas del área Béjar-Plasencia-Barco de Avila, a la importancia y variedad de los silicatos aluminicos en todo el dominio señalado. Se pretende ahora añadir al estudio inicial datos complementarios acerca de estos minerales y establecer su significado en lo que se refiere a su presencia en rocas graníticas. Las excepcionales condiciones de observación

* Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias. Salamanca.

que ofrece la zona que se considera, con numerosas facies de transición de unos tipos petrográficos a otros, así como la abundancia de nebulitas y rocas afines con la asociación cordierita-sillimanita constituyen puntos básicos en la interpretación que se propone.

Establecida ya la base petrográfica en los trabajos citados por lo que se refiere a las rocas en las que aparecen cordierita, sillimanita y andalucita, se atenderá aquí únicamente a las relaciones particulares de estos minerales y a la posibilidad de su utilización como criterios aptos para definir líneas petrogenéticas.

C O R D I E R I T A

En relación con los acontecimientos metamórficos posteriores a las principales fases de deformación es posible observar los siguientes tipos:

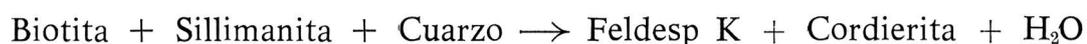
a) Cordierita en cornubianitas desarrolladas en la aureola térmica de granitos emplazados en niveles epizonales. Se encuentra en formas típicamente poiquiloblásticas, subhedrales y sin maclas aparentes. La asociación mineralógica más frecuente está integrada por: biotita, cuarzo, moscovita y cordierita desarrollada generalmente sobre esquistos clorítico-sericíticos.

b) Cordierita presente en cornubianitas de carácter isótropo en las que la esquistosidad es residual y definida únicamente por palimpsestos de biotita y fibrolita. La asociación mineralógica postectónica está integrada por: biotita, sillimanita (en prismas de hasta 1,5 ctms.), feldespato potásico, cuarzo y cordierita que presenta maclas de interpenetración. En formas subhedrales, incluye poiquiloblásticamente cuarzo, biotita y sillimanita.

Estos tipos cordieríticos no forman nunca parte de la petrografía granítica como minerales aislados sino que, en todo caso, se encuentran en enclaves dentro de la masa granítica.

c) Cordierita en el neosome de las migmatitas. Puede presentarse bajo tres formas principales entre las que son posibles todos los casos intermedios dependiendo del grado de evolución de las migmatitas:

1. En forma de cristales alargados según la esquistosidad principal, junto con la biotita. Es muy frecuente la asociación de estos dos minerales con sillimanita, que se conserva dentro de la cordierita (Fig. 1). Esta relación y el hecho de que este tipo de cordierita no esté nunca afectado por fases de deformación posteriores a la que ha producido la esquistosidad citada, son datos que permiten establecer que se trata de una cordierita mimética, postectónica y producida probablemente por la reacción:



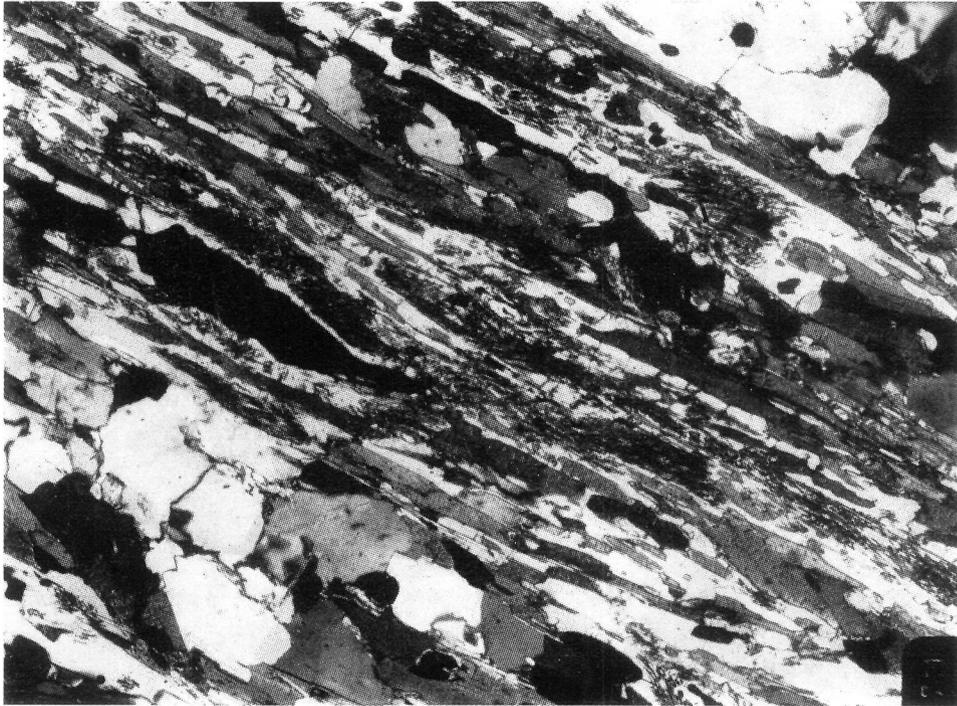


FIG. 1

Cordierita tipo C-1. × 40. N.C.

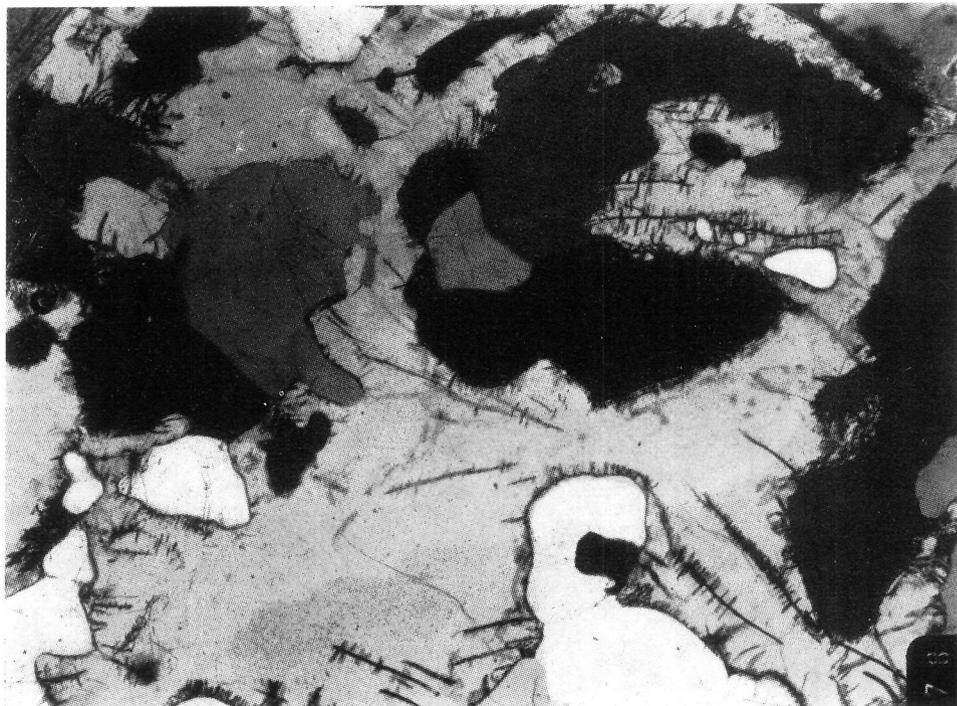


FIG. 2

Cordierita tipo C-2. × 40. N.C.

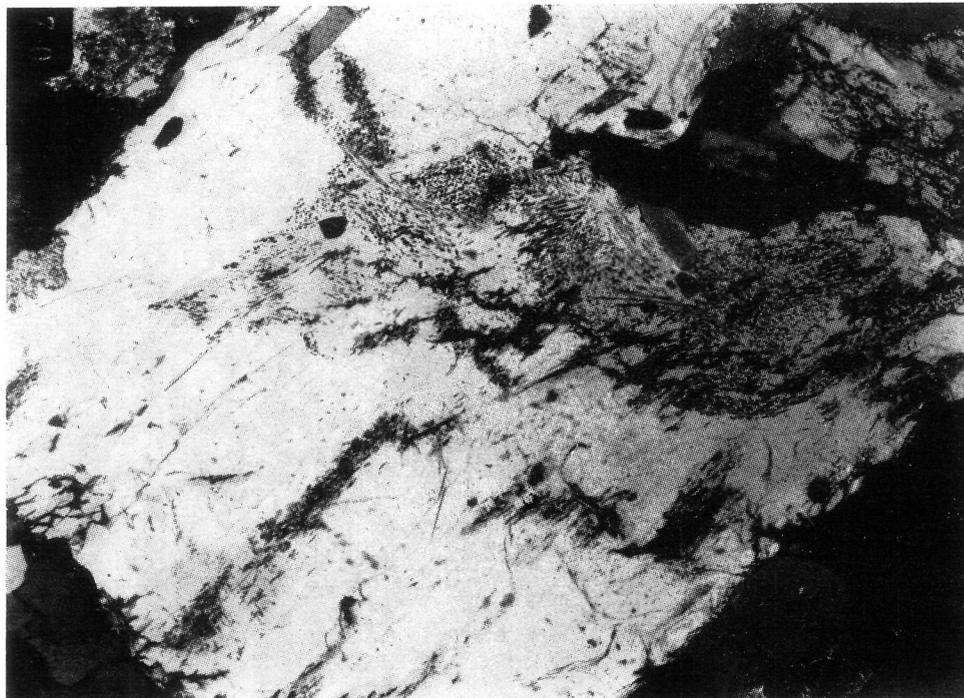


FIG. 3

Cordierita tipo C-3, con inclusiones de biotita y sillimanita. × 40. N.C

que según PLATEN y HÖLLER (1966, in BLASI y SCHIAVINATO, 1968) tiene lugar a temperaturas de 700°C - 675°C para presiones de 2.000 - 4.000 bars, produciéndose un residuo cristalino formado por cordierita, sillimanita y cuarzo y un baño anatético a partir del cual cristaliza el leucosome.

2. Cordierita globular, en formas irregulares, asociada frecuentemente al cuarzo con el que se dispone formando nódulos de tamaños variables que pueden llegar hasta los 10 centímetros. En estos nódulos la cordierita tiene la misma orientación óptica y el cuarzo, por el contrario, está representado por individuos diferentes completamente irregulares (Fig. 2). Otras inclusiones de estos nódulos son: sillimanita, biotita y circón.

3. Cordierita en cristales aislados de tendencia euhedral (Fig. 3) que llega a ser perfectamente prismática en muchas ocasiones, pudiendo tener o no inclusiones de cuarzo, sillimanita, biotita y circón. A veces maclada con maclas laminares, si bien esto es muy poco frecuente. Llega a alcanzar tamaños de hasta 3-4 centímetros en áreas marginales a los granitos biotíticos de Béjar, en los que es frecuente este tipo de cordierita.

El predominio o abundancia de cada uno de los tres casos considerados depende del grado de evolución de las migmatitas en las que se encuentran, es decir, que en migmatitas de tipo nebulítico y próximos a éste son más

frecuentes las cordieritas c-2) y c-3), mientras que en las migmatitas en las que predomina el paleosome sobre el neosome es frecuente el tipo c-1) y en menor proporción el c-2), siendo muy raros los prismas euhedrales. Igualmente, en los granitos de estas áreas se encuentra sólo el tipo c-3) y en menor proporción el c-2).

Los datos que se conocen hasta el momento de difractogramas y valores del índice de distorsión de las cordieritas (PÉREZ, 1971; COLMENERO y BEA, datos no publicados) son más próximos a los que presentan las cordieritas metamórficas, por comparación con los datos de MIYASHIRO *et al.* (1955) y MIYASHIRO (1957).

Por otra parte, si bien las condiciones del metamorfismo (UGIDOS, 1974) pueden haber sido suficientes como para lograr la fusión incongruente de biotita en presencia de cuarzo (PLATEN, 1965) no ocurre lo mismo para la cordierita (SCHREYER y YODER, 1964) que puede ser añadida al baño anatécico solo parcialmente, en el caso de temperaturas superiores a las que han tenido lugar en el dominio metamórfico que se considera.

En consecuencia y a pesar de que algunas de las relaciones texturales de la cordierita pudieran conducir a la idea de que tiene un origen magmático directo (especialmente cuando se encuentra en formas prismáticas en los granitos y granodioritas), es más probable que se haya formado según un proceso de segregación o diferenciación metamórfica (BLASI y SCHIAVINATO, 1968) durante el proceso anatécico en el que la presencia de un fluido palingénético ha debido jugar un papel importante (MEHNERT, 1962).

La cordierita c) constituye, por tanto, un residuo cristalino y su mayor o menor desarrollo, así como el grado de idiomorfismo que puede llegar a alcanzar, depende del grado de viscosidad en que se encuentre el producto anatécico, es decir, del grado de sobrecalentamiento del mismo. Conviene señalar a este respecto que los prismas cordieríticos están tanto mejor desarrollados cuanto mayor es la proximidad a los granitos biotíticos calcoalcalinos de Béjar y zonas próximas (UGIDOS, 1974 a).

La presencia de cordierita (alterada a pinnita) en los granitos tiene, entonces, dos significados diferentes según los casos:

1. Cordierita en los granitos de anatexia (granitos heterogéneos) y granitos de dos micas parcialmente enraizados (UGIDOS, 1974 c). Representa un mineral residual, "resister", al proceso de palingénesis que ha producido estos granitos como consecuencia de un fenómeno de metasomatismo e hidratación sobreimpuestos a la petrología metamórfica inicial (UGIDOS, 1974 d).

2. Cordierita en los granitos calcoalcalinos biotíticos de Béjar y áreas próximas. Tiene el significado de xenocristales que se han incorporado a la masa magmática calcoalcalina la cual se ha mezclado con los productos ana-

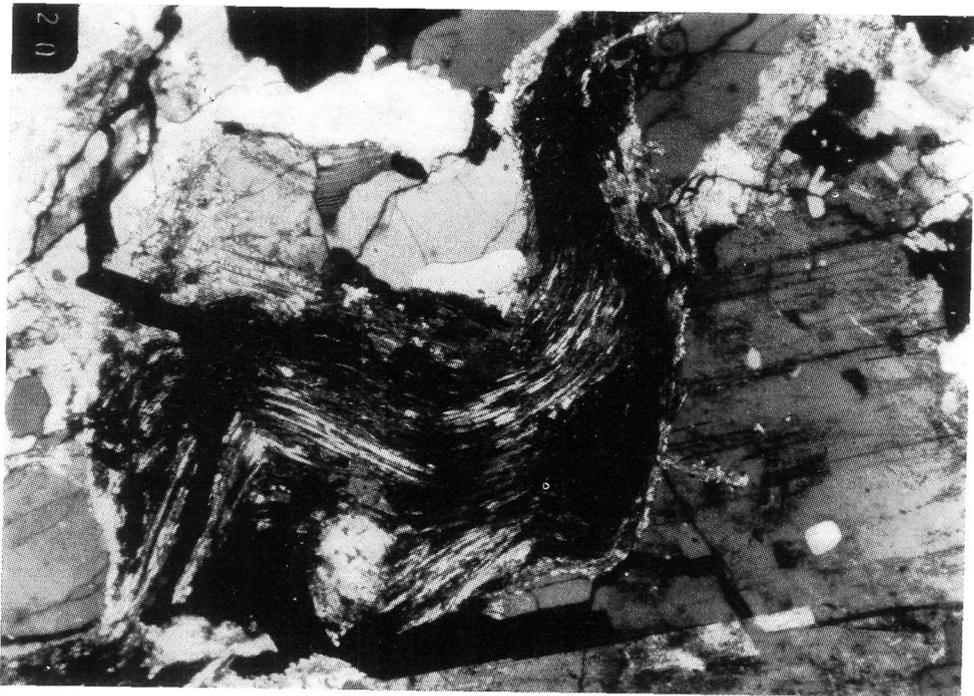


FIG. 4



FIG. 5

*Sillimanita en los granitos de Plasencia-Montehermoso.
× 40 y 140 respectivamente. N.C.*

técticos desarrollados en las rocas encajantes, en los cuales se encontraba la cordierita como residuo cristalino. Esta "hibridación" del magma calcoalcalino es responsable, tal como se ha señalado, de la convergencia de su quimismo con el de la serie alcalina en el caso de los granitos "younger" de esta región (UGIDOS, 1974 a, c).

SILLIMANITA

Tiene un largo período de desarrollo que oscila de etapas anteriores a la fase de plegamiento de la esquistosidad principal a etapas posteriores. Los mismos tipos de sillimanita que se encuentran en las rocas migmatíticas tienen equivalentes en los granitos heterogéneos de anatexia, así como en los granitos de dos micas de Plasencia-Montehermoso (UGIDOS, 1974 c). Puede presentarse como mineral aislado (Figs. 4 y 5) o formando parte de estructuras palimpsésticas, por lo que no parece necesario atribuir a la sillimanita un origen magmático en los granitos, si bien no se descarta esta posibilidad en algunos casos.

En los granitos biotíticos de Béjar, es muy rara la sillimanita y cuando se encuentra presenta las mismas características que en los casos anteriores. Dado que las facies cordieríticas de estos granitos (en las cuales se encuentra sillimanita) representan un proceso de asimilación, no es probable que la sillimanita tenga un origen magmático. En algunos casos se conserva dentro de las cordieritas de estos granitos, en la misma relación textural que en las rocas encajantes.

ANDALUCITA

Totalmente ausente de las rocas de tipo migmatítico, se encuentra únicamente en rocas graníticas de diversas clases:

1. En los granitos heterogéneos de anatexia bajo la forma de cristales de tamaños variables, irregulares, a veces asociados a los productos de transformación de la cordierita (Fig. 6). No es muy frecuente y siempre parcialmente transformada a moscovita.

2. En los nódulos de los granitos aplíticos (UGIDOS, 1973 b), también en forma de granos irregulares que se disponen, a veces, entre los productos cloríticos de transformación de la cordierita. Es el tipo granítico en el que con más frecuencia se presenta la andalucita.

3. En los granitos de dos micas de Plasencia-Montehermoso, especialmente en el extremo occidental del batolito, es decir, en las áreas donde este



FIG. 6
Andalucita asociada a los productos de transformación de la cordierita.
× 40. N.C.

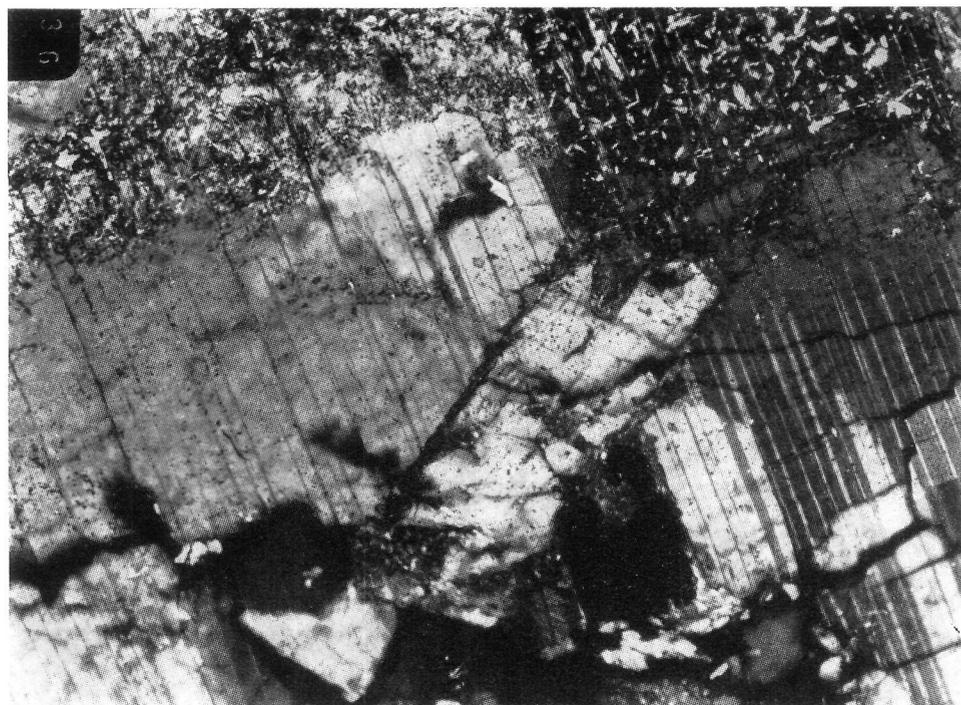


FIG. 7
Andalucita incluida en plagioclasas. Granitos de Plasencia-Montehermoso.
× 140. N.C.

granito tiene un neto carácter alóctono. Puede presentarse en formas de tendencia euhedral, o en granos irregulares. A veces incluida en plagioclasas de composición oligoclásica intermedia (Fig. 7). En algún caso se encuentra también asociada a los productos de transformación de la cordierita.

4. En las facies más epizonales y evolucionadas de los granitos calcoalcalinos biotíticos con cordierita de Béjar (zona de La Alberca-Sequeros) donde el granito presenta una petrografía de tendencia aplítica con moscovita, ausencia casi total de cordierita y frecuente turmalina. La andalucita es aquí un mineral abundante (PELLITERO, 1971; SAAVEDRA *et al.*, 1971; MADRUGA, 1972; UGIDOS, 1973 a).

5. En un único caso ha sido posible observar la asociación de la andalucita con biotita en forma de crecimiento simplectítico, persistiendo en el conjunto restos de estaurolita (Fig. 8). Con toda probabilidad este tipo de relación refleja una transformación de la estaurolita en los otros minerales según ha sido expresado recientemente por KWAK (1974). La presencia de estaurolita en un dominio caracterizado por la asociación sillimanita-cordierita, constituye por el momento un dato aislado sobre el que no es posible hacer conjeturas, aunque cabe suponer que su génesis pertenece a un metamorfismo anterior ya que en áreas al N y NO de las que aquí se consideran ha sido



FIG. 8

Relación entre andalucita, biotita y estaurolita. × 40. N.C.

puesto de relieve la existencia de un metamorfismo con la asociación estauro-lita-granate relacionado con una fase de plegamiento de probable edad prehercínica (MARTÍNEZ GARCÍA y NICOLAU, 1973).

Dejando a un lado la andalucita 5, los otros tipos ofrecen dificultades en cuanto a la determinación de su origen. Son de destacar los siguientes aspectos:

1. En ningún caso se ha observado andalucita incluida en cordierita en las facies migmatíticas por lo que la presencia del primer mineral entre los productos de alteración del segundo no debe ser atribuida a su existencia anterior, sino que resulta de la transformación de la cordierita tal como ha sido mostrado por LAL (1969) y por SEIFERT y SCHREYER (1970) a partir de trabajos experimentales. La persistencia de la andalucita o su transformación en sericita vendría condicionada por la menor o mayor intensidad del efecto causado por las soluciones potásicas (SEIFERT y SCHREYER, *op. cit.*) en el "breakdown" de la cordierita.

Efectivamente, en los casos en los que se encuentra andalucita entre los productos de alteración de la cordierita no existe o es muy rara la sericita predominando biotita o clorita en los mismos, tal como ocurre de un modo más señalado en los nódulos de los granitos aplíticos en los cuales el efecto causado por las disoluciones potásicas debió ser menos acentuado que en el caso de los granitos heterogéneos de anatexia y que en el caso de las cordieritas de los granitos de Béjar, donde no se ha observado la relación andalucita-cordierita ya que los únicos productos de alteración son de tipo pinítico.

2. No obstante los aspectos señalados en el punto anterior, la mayor parte de la andalucita tanto en unos granitos como en otros no guarda relación directa con la transformación de la cordierita sino que se encuentra aislada entre otros minerales o en ocasiones incluida en plagioclasas (granitos de Plasencia-Montehermoso) lo que hace pensar en un estadio temprano de cristalización a partir de condiciones magmáticas, tal como ha sido indicado por algunos autores como SCHERMERHORN (1956) y CORRETGÉ (1971) para otros granitos peninsulares.

Sin embargo, la presencia de andalucita en granitos de dos micas enraizados (granitos heterogéneos de anatexia) y menos evolucionados que los de Plasencia-Montehermoso y los datos señalados en el punto primero dejan abierta la posibilidad de que parte de la andalucita aparentemente magmática, se haya producido en realidad por transformación de la cordierita en el proceso de metasomatismo potásico del que se han derivado los granitos (UGIDOS, 1974 d) persistiendo como mineral independiente durante las condiciones de sobrecalentamiento (respecto a la curva sólido-liquidus en con-

diciones de $P_{H_2O} = P_{total}$) subsiguientes, a consecuencia de las cuales ha sido posible la formación del magma granítico. Es necesario admitir, entonces, que este sobrecalentamiento ha tenido lugar, al menos en parte, dentro del campo de estabilidad de la andalucita (según las gráficas de RICHARDSON *et al.*, 1968, para polimorfos alumínicos).

En el caso de las facies aplíticas de La Alberca-Sequeros, no es posible aplicar esta solución a la presencia de la andalucita, siendo más probable que este mineral se haya formado a partir de un estadio del magma calcoalcalino enriquecido en fluidos residuales hiperalumínicos, derivados de la disolución de cordierita y sillimanita.

Los silicatos alumínicos considerados en los granitos y migmatitas, así como las relaciones texturales que presentan, pueden constituir criterios para definir la secuencia o serie petrogenética a la que pertenecen muchos de los granitos "younger" peninsulares.

El primer punto a considerar es el de que la cordierita prismática es abundante sólo (en los granitos alóctonos) en granitos biotíticos (con oligoclasa-andesina y moscovita a veces; andalucita y sillimanita como minerales subordinados) que si bien tienen tendencia alcalina, parte de sus características revelan afinidades calcoalcalinas.

Dado por una parte el neto significado de xenocristal que tiene la cordierita en las áreas de Béjar donde es posible establecer su origen exterior al granito y por otra la imposibilidad de que la cordierita cristalice magmáticamente a partir de un baño rico en soluciones potásicas (WYART y SABATIER, 1959; MICHEL-LEVY, 1960; SEIFERT y SCHREYER, 1970) cabe, en principio, establecer que los granitos que contienen abundante cordierita con las características señaladas pertenecen a una misma línea petrogenética. Algunos ejemplos podrían ser los casos de los granitos de Béjar, Cabeza Araya (CORRETGÉ, 1971), Macizo de Toledo (APARICIO, 1971), Sierra de Gata (GARCÍA DE FIGUEROLA, 1973) en los que no hay o tiene poca importancia cuantitativa la sillimanita, apareciendo también andalucita.

Por el contrario en los granitos de dos micas es frecuente la sillimanita, no existe apenas cordierita y puede aparecer andalucita. Ejemplos de estos granitos estarían representados por los granitos de Plasencia-Montehermoso (UGIDOS, 1974 c) y Nisa-Albuquerque (según datos en CORRETGÉ, 1971).

Evidentemente, esta primera aproximación a un intento de clasificar los granitos "younger" necesita de un mayor número de datos para quedar establecida o rechazada pero las características señaladas no dejan de ser puntos significativos cuya coincidencia no debe de ser casual.

En punto principal estaría en admitir el carácter de xenocristal para la cordierita en unos granitos o de "resister" en otros. En este último caso la sillimanita sería también un componente petrográfico relativamente abundante,

relicto en condiciones anatécnicas. La andalucita puede ser un mineral común en ambos casos debido a un exceso de alúmina en el magma granítico, bien como consecuencia de un proceso de asimilación o bien derivado de la naturaleza de los materiales en los niveles anatécnicos.

El problema se complica en el caso de granitos muy alóctonos en los que su propia evolución interna ha hecho desaparecer restos mineralógicos que podrían ser usados como criterios petrogenéticos y por otra parte su aloctonía no permite establecer posibles relaciones con las rocas encajantes a partir de las cuales incorporan los prismas cordieríticos o con los niveles anatécnicos de los que proceden. La solución de esta problemática (admitido el planteamiento petrogenético de los granitos de Béjar y Plasencia-Montehermoso) puede estar en una caracterización geoquímica referida especialmente a las relaciones de elementos traza más significativos a fin de establecer a cuál de las líneas de posible evolución convergente pertenece cada granito.

BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, A. (1971): *Estudio geológico del Macizo Cristalino de Toledo*. Est. Geol., 27, 369-414.
- BLASI, A. y SCHIAVINATO, G. (1968): *Significato petrologico dei noduli a sillimanite e dei noduli a cordierite diffusi nelle anatessiti biotitiche del M. Pelago. (Massiccio cristallino dell'Argentera)*. Boll. Soc. Geol. Italiana, 87, 253-275.
- CORRETEGÉ, L. G. (1971): *Estudio petrológico del batolito de Cabeza Araya (Cáceres)*. Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C. (1973): *Memoria explicativa de la Hoja Geológica n.º 573 (Sierra de Gata), escala 1:50.000*. Inst. Geol. Min. España.
- KWAK, T. A. P. (1974): *Natural staurolite breakdown reactions at moderate to high pressures*. Contr. Min. Petr., 44, 1, 57-80.
- LAL, R. K. (1969): *Retrogression of cordierite to kyanite and andalusite at Fishtail Lake. Ontario. Canada*. Mineral. Magaz., 37, 466-471.
- MADRUGA, F. (1972): Tesis Licenciatura. Univ. Salamanca.
- MARTÍNEZ GARCÍA, E. y NICOLAU, J. (1973): *Los terrenos infraordovicicos de la anti-forma de Martinamor (Salamanca)*. Bol. Geol. Min., 84 (6), 407-418.
- MEHNERT, K. R. (1962): *Petrographie und Abfolge der Granitisation im Schwarzwald*. III. N. Jb. Min. Abh., 98, 208-249.
- MICHEL-LEVY, C. M. (1960): *Sur l'altération de la cordierite*. Bull. Soc. Franc. Min. Crist., 83, 142-143.
- MIYASHIRO, A.; IYAMA, T.; YAMASAKI, M. y MIYASHIRO, T. (1955): *The polymorphism of cordierite and indialite*. Am. J. Sc., 253, 185-208.
- MIYASHIRO, A. (1957): *Cordierite indialite reactions*. Am. J. Sc., 255, 43-62.
- PELLITERO, E. (1971): Tesis Licenciatura. Univ. Salamanca.
- PÉREZ, S. (1971): Tesis Licenciatura. Univ. Salamanca.

- SAAVEDRA, J. (1971): *Las formaciones paleozoicas de la comarca salmantina, Sierra de Francia y sus procesos de alteración*. Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- SCHERMERHORN, L. J. G. (1956): *Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire-São Pedro do Sul-Satao region (Northern Portugal)*. Com. Serv. Geol. Portugal, 37, 5-617.
- SCHREYER, W. y YODER, H. S. (1964): *The system Mg-cordierite-H₂O and related rocks*. N. Jb. Min. Abh., 101, 271-342.
- SEIFERT, F. y SCHREYER, W. (1970): *Lower temperature stability limit of Mg-cordierite in the range 1-7 Kb water pressure: a redetermination*. Contr. Min. Petr., 27, 225-238.
- UGIDOS, J. M. (1973 a): *Estudio petrológico del área Béjar-Plasencia. (Salamanca-Cáceres)*. Tesis Doctoral, Univ. Salamanca.
- (1973 b): *Los granitos aplíticos de nódulos en el área Béjar-Barco de Avila (Salamanca-Avila)*. Stvd. Geol., 6, 85-93.
- (1974 a): *Los granitos biotíticos ± cordierita de Béjar y áreas adyacentes*. Bol. Geol. Min. de Esp., 85 (2), 214-222.
- (1974 b): *Características del metamorfismo en el área Béjar-Plasencia*. Bol. Geol. Min. de Esp., 85 (1), 73-81.
- (1974 c): *Granitos de dos micas y moscovíticos en la región granítica de Barco de Avila-Plasencia y áreas adyacentes (Avila-Cáceres)*. Stud. Geol., 7, 63-86.
- (1974 d): *Metasomatismo y granitización en el complejo metamórfico de Béjar-Barco de Avila-Plasencia. Petrogénesis de los granitos de tendencia alcalina*. Stvd. Geol., 8, 27-46.
- VON PLATTEN, H. (1965): *Experimental anatexis and genesis of migmatites*. In: *Controls of metamorphism*. W. S. Pitcher y G. W. Flinn. London. Oliver and Boyd, 203-219.
- WYART, J. y SABATIER, G. (1959): *Transformations des sédiments pélitiques a 800°C sous une pression de 1.000 bars et granitisation*. Bull. Soc. Franc. Crist. Min., 82, 201-210.

(Recibido el 3 - XII - 75)

(Aceptado el 12 - I - 76)