

# Los piroxenos de las rocas graníticas de la Sierra de Guadarrama (S.C.E.)

*The pyroxenes of granitic rocks from the Sierra de Guadarrama (S.C.S.)*

R. Casillas

Departamento de Edafología y Geología. Fac. C.C. Biológicas. Universidad de La Laguna. 38204 La Laguna. Santa Cruz de Tenerife.

## ABSTRACT

*The pyroxenes are rarely observed in the granitic rocks from the Sierra de Guadarrama. The clinopyroxene only exists in the basic-intermediate types of calc-alkaline associations ( El Tiemblo, Almenara, Ventosilla, etc); in the granodiorites from aluminio-calcic monzonitic associations ( Navas del Marqués and La Cabrera ), or in the enclaves included in these rocks. Only in the Ventosilla pluton is also possible to find orthopyroxene crystals. The geochemical study of these phases allows the determination of different conditions of formation of these minerals:  $fO_2$ ,  $T^a$ , etc, in the various granitic types. In some occasions and possibly by slow cooling rate of the plutonic masses, the crystals of clinopyroxene present granule exsolution and subsolidus reequilibrium.*

**Key words:** pyroxenes, granitic rocks, Sierra de Guadarrama, formation conditions, subsolidus reequilibrium.

*Geogaceta*, 14 (1993), 136-139  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En las paragénesis minerales que presentan las distintas rocas graníticas de la Sierra de Guadarrama, los piroxenos son siempre muy escasos y solo aparecen en unas tipologías muy concretas:

a). En rocas de composición cuarzo-monzodiorítica, tonalítica y granodiorítica de la asociación calcoalcalina de El Tiemblo- Cañada-Almenara-Ventosilla (Casillas *et al.*, (1988); Casillas, (1990), ITGE (1990a), ITGE (1990b).

b). En enclaves de dimensiones variables incluidos en granodioritas y monzogranitos de asociaciones aluminio-calcicas de tendencias monzoníticas del tipo Navas del Marqués, (Aparicio *et al.*, 1975; Barrera *et al.*, 1981 y Casillas, 1990).

c). En rocas de composición granodiorítica de este último tipo de asociación (plutón de Las Navas del Marqués, Casillas, (1990); ITGE, (1990b) y en el plutón de La Cabrera).

Sólo en el plutón de la Ventosilla es posible encontrar ortopiroxeno y clinopiroxeno juntos, en el resto de las rocas sólo aparecen cristales de clinopiroxeno.

En las tonalitas-granodioritas de El Tiemblo y Almenara los piroxenos aparecen como cristales subidiomorfos

blindados por anfíbol actinolítico que, a veces, rodean a grandes granos subredondeados de cuarzo policristalino (tipo textural 1). En las tonalitas de la Ventosilla también aparece este tipo textural de clino y ortopiroxeno (tipo 2), pero también es frecuente encontrarlos como pequeños cristales esqueléticos incluidos en plagioclasa, (tipo 3).

Los clinopiroxenos en enclaves de las rocas de las asociaciones aluminio-calcicas pueden formar agregados de grandes cristales rodeados por anfíbol (tipo 4) o aparecer como cristales de menor tamaño incluidos en grandes poiquilocristales de feldespato potásico (tipo 5).

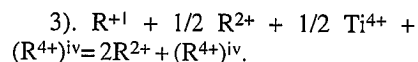
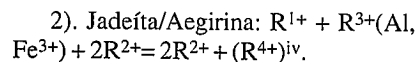
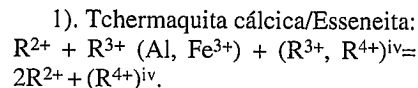
Por último, en la granodiorita de Navas del Marqués aparece como mineral relicto en algún núcleo de anfíbol y como pequeñas inclusiones en fenocristales de plagioclasa en el caso de las granodioritas de La Cabrera (tipo 6).

Los clinopiroxenos presentan una composición variable entre tipos diopsídicos y augíticos, con alguna excepción de hedembergita en los enclaves (Fig. 1).

Los ortopiroxenos también manifiestan una amplia variación entre tipos enstatíticos, En79-En52 y tipos ferrosilíticos, En45-En58 (Fig. 1).

La composición final de los piroxenos en estas rocas puede expresarse en

función de tres mecanismos de sustitución acoplados (Morimoto *et al.*, 1988):



En los clinopiroxenos estudiados la primera sustitución es la de mayor importancia, siendo las otras dos poco significativas, (Fig. 2a y 2b). En los clinopiroxenos incluidos en poiquilocristales de feldespato potásico en los enclaves (tipo 5), en los que aparecen en las rocas granodioríticas de la Cabrera, y en algunos cristales del plutón de la Ventosilla, el mecanismo de entrada del aluminio en posición tetraédrica es de tipo Tschermakítico ( $\text{CaAl AlSiO}_6$ ) (Fig. 2a), mientras que para los piroxenos de mayor tamaño de los enclaves (tipo 4), y en la mayoría de los que aparecen en las rocas de la asociación calcoalcalina, (tipos 1, 2, y 3) es de tipo Essénítico ( $\text{CaFe}^{3+} \text{AlSiO}_6$ ) (Fig. 2b).

La presencia de  $\text{Fe}^{3+}$  en la estructura de estos piroxenos indica unas condiciones de oxidación moderadas o altas

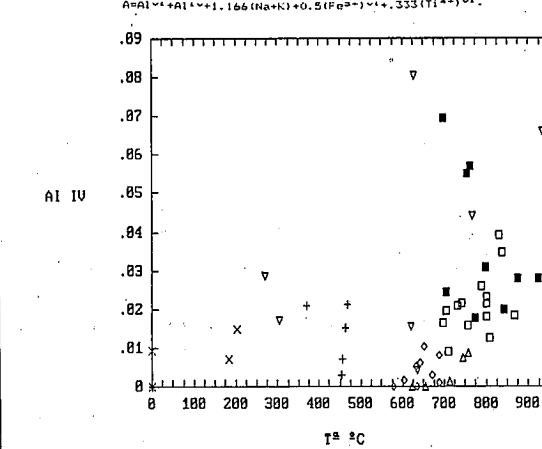
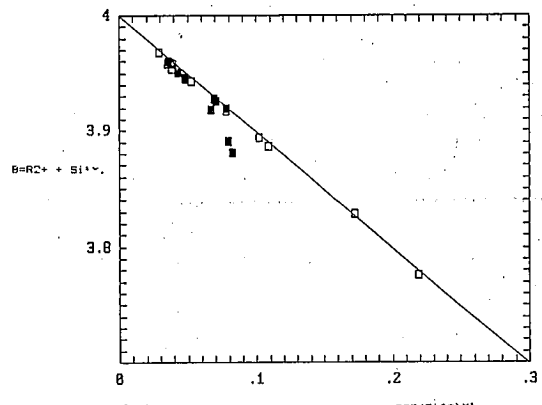
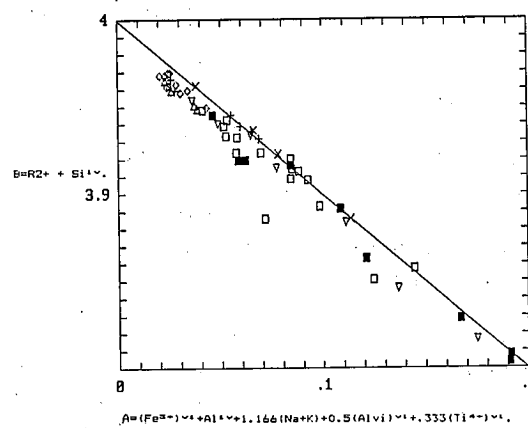
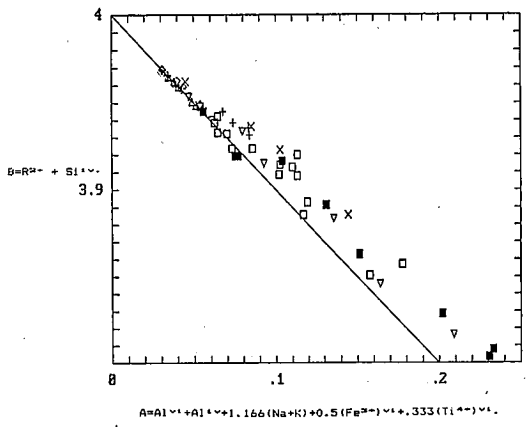
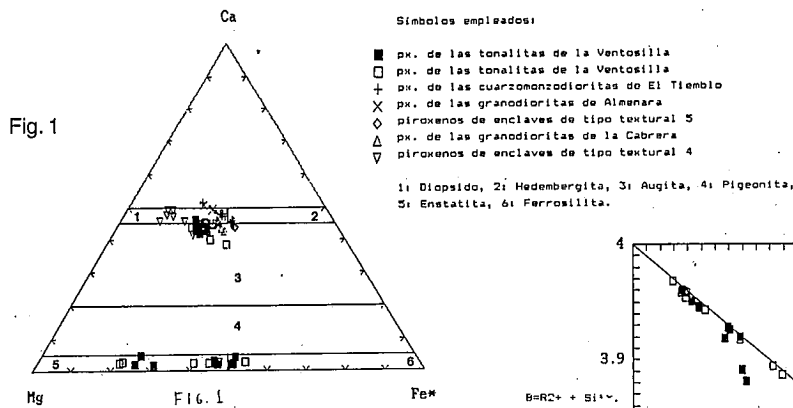


Fig. 2

Fig. 1.— Posición de las fases minerales en el diagrama Ca-Mg-Fe# de clasificación de piroxenos propuesto por Morimoto et al, (1988).

Fig. 1.— Position of the mineral phases in the Ca-Mg-Fe# diagram of Morimoto et al, (1988) pyroxene classification.

Fig. 2.— Diagramas de variación composicional: a, b, d y e para clinopiroxenos; c para ortopiroxenos. En d y e, la relación entre T² estimada en base al método de Kretz (1982) y el contenido en Ti y Al<sup>iv</sup> en clinopiroxenos.

Fig. 2.— The composition variation diagrams: a, b, d and e for clinopyroxenes; c for orthopyroxenes. In d and e, the relation between T² deduced by the Kretz (1982) calculation and the Ti and Al<sup>iv</sup> content in clynopyroxenes.

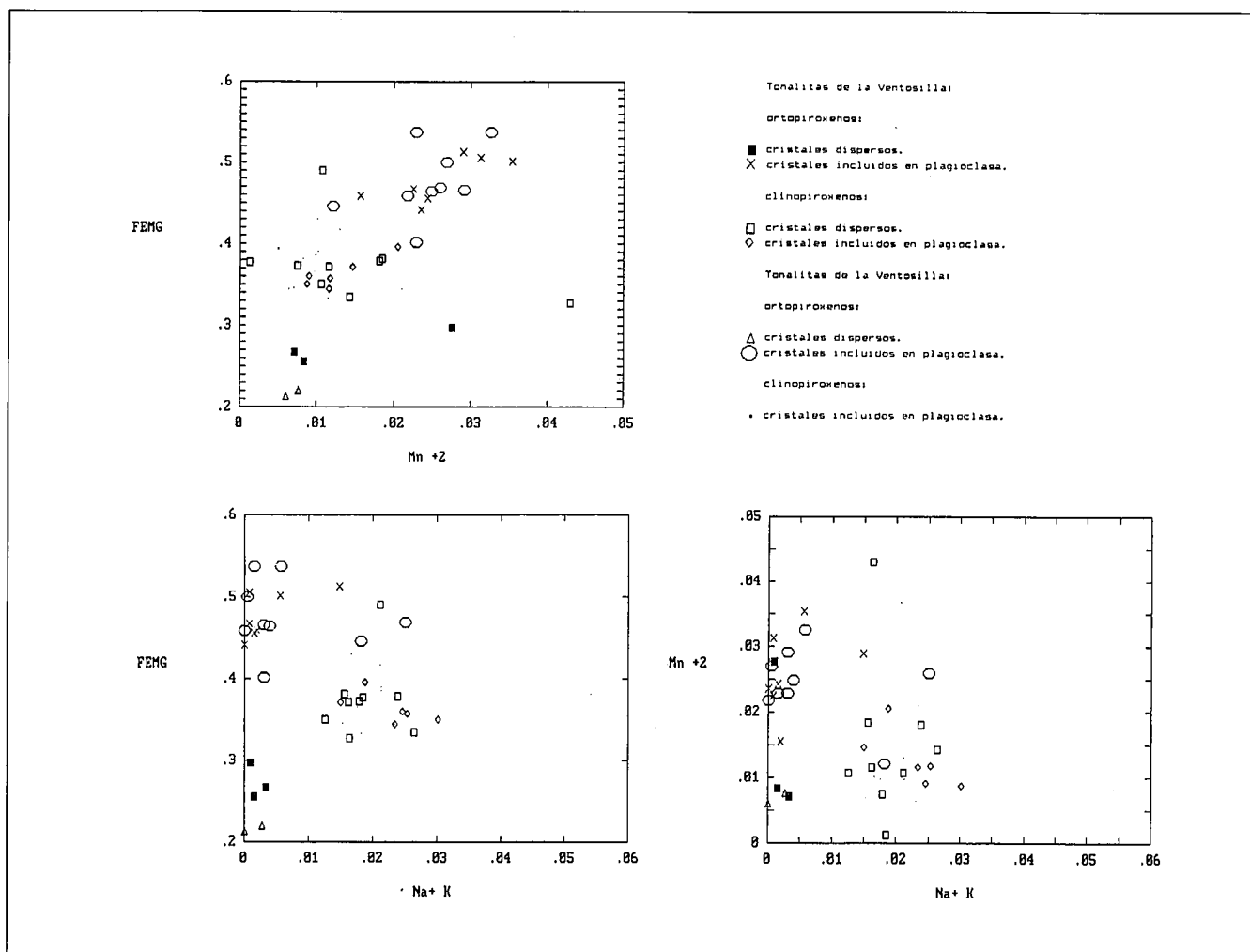


Fig. 3.— Diagramas composicionales de relación orto y clinopiroxeno.

Fig. 3.— Composition diagrams of the relation between orto and clinopyroxenes.

(próximas al tampón hierro-wustita), en presencia de álcalis y aluminio (Huebner, 1982). Por ello, parece que las condiciones de  $f_{O_2}$  parecen haber sido más altas en la formación de los piroxenos de las rocas de la asociación calcoalcalina y en los de mayor tamaño (tipo 4), que se encuentran en los enclaves. En este último caso, además, estas fases minerales presentan contenidos en Mg muy elevados con respecto al la concentración en Mg de la roca que los contiene, lo que podría explicarse por su carácter heredado o por la alta  $f_{O_2}$  de cristalización de los mismos.

En los ortopiroxenos también se producen estos tipos de sustitución, siendo en este caso predominante el tipo tschermaquítico ( $CaAl_2AlSiO_6$ ) en el primer proceso (Fig. 2c).

Los clinopiroxenos de los enclaves de tipo 5, los que aparecen en el plutón de la Cabrera y los incluidos en cuarzo-nodioritas de El Tiemblo y las gra-

nodioritas de Almenara tienen contenidos más altos de Mn, Fe y más bajos de Mg y Ti si los comparamos con los que aparecen en los enclaves de tipo 4 y los del plutón de la Ventosilla.

En este último plutón, los ortopiroxenos dispersos, de tipo 2, son más ricos en Mg y más pobres en Mn y Fe que los que se encuentran incluidos en plagioclasa y acompañan a los cristales de clinopiroxeno de tipo 3 (Fig. 3a, 3b y 3c). Los cristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno dispersos, tipo 2, no parecen haber crecido en equilibrio, pues el clinopiroxeno muestra relaciones  $Fe/Fe + Mg$  mucho más elevadas, que las esperadas para un clinopiroxeno en equilibrio con ortopiroxeno (Huebner, 1982).

Sin embargo los cristales del tipo textural 3 si parecen estarlo. De esta forma, en este caso existe una partición de elementos entre orto y clinopiroxeno ( $Kd_{opx/clx}$ ) mayor de 1 para cationes divalentes como el Mn, menor de 1 para

álcalis: Na y K (Fig. 3a, 3b y 3c), y, que se mantiene cercano a 1 para Ti y Al, como se debería esperar en un equilibrio entre ambas fases (Huebner, 1982).

Se han calculado las  $T^a$  mínimas de cristalización del clinopiroxeno deducidas de la curva solvus y de intercambio clinopiroxeno-ortopiroxeno según los geotermómetros propuestos por Kretz (1982). Los piroxenos de las rocas de El Tiemblo y Almenara, así como alguno de los cristales que aparecen en los enclaves, tipo 4, como ya indicó Casillas, (1990), muestran  $T^a$  subsólidas de reequilibrio debidas a exoluciones granulares de piroxeno pobre en calcio seguida de una coalescencia del material exuelto que formaría granos nuevos, obteniéndose composiciones finales alejadas de la inicial de cristalización (Lindsley y Andersen, 1980, Lindsley, 1983). Estos piroxenos presentan contenidos en Ca por fórmula unidad mayores de 0.9.

Los clinopiroxenos que aparecen en la granodiorita de la Cabrera y los de los enclaves muestran  $T^a$  que oscilan entre 572 y 760 °C, con una excepción de un cristal de mayor tamaño en los enclaves, tipo 4, para el que se deducen 932 °C. Para los clinopiroxenos de Ventosilla se deducen  $T^a$  que oscilan entre 700 y 980 °C, valores que coinciden a grandes rasgos, para los clinopiroxenos en equilibrio con ortopiroxenos, con las  $T^a$  de intercambio entre las dos fases minerales (700° a 1070° C, siendo los más frecuentes entre 900 y 1000° C). Para los clinopiroxenos de tipo textural 2 se obtienen temperaturas similares, no así para los ortopiroxenos, en los cuales y teniendo en cuenta la superficie solvus propuesta por Linsley y Anderson, 1980, son superiores a 1000° C.

En todos los clinopiroxenos cuyas  $T^a$  deducidas son superiores a 570° C se puede verificar una buena correlación negativa entre la  $T^a$  estimada y el contenido en Ca y positiva con respecto a Mg, Ti y Al<sup>iv</sup> (Fig. 2d y 2e).

Parece, pues que en el plutón de Ventosilla se puede deducir la existencia de dos generaciones de piroxenos. Los ortopiroxenos dispersos habrían crecido tempranamente, por su composición son comparables a los que aparecen en los cuerpos básicos del área del Mirón (Sanchez y Franco, 1987). En un segundo periodo se produciría el crecimiento de los cristales de clinopiroxeno dispersos y una segunda generación de ortopiroxenos equilibrados con los clinopiroxenos incluidos posteriormente por los cristales de plagioclasa.

De manera general, el quimismo de los piroxenos que aparecen en las rocas graníticas de la Sierra de Guadarrama parece estar condicionado fundamentalmente por las condiciones de  $T^a$  y  $f_{O_2}$

del magma a partir del cual cristalizaron, condiciones éstas también relacionadas con el grado de acidez de dicho magma.

En algunos plutones de la asociación clacolacalina como en el Tiemblo y Almenara y en los enclaves granodioríticos que portan tipos granodioríticos de asociaciones alúmino-cafémicas de tendencias monzoníticas, los cristales de clinopiroxeno han sufrido un reequilibrio subsólido importante. Este reequilibrio puede ser explicado por el enfriamiento muy lento que sufrieron estas rocas incluidas todas ellas en voluminosas masas graníticas de emplazamiento simultáneo: granodioritas-monzogranitos porfídicos deformados de El Tiemblo y Portacho y granodioritas-monzogranitos biotítico-anfibólicos de las Navas del Marqués.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto PB 88-0117 subvencionado por la DGYCIT. Agradecemos al Lab. nº 10 CNRS-U. B. P. de Clermont-Ferrand las facilidades dadas para el uso de su microsonda electrónica CAMEBAX.

#### Bibliografía

- Aparicio, A.; Barrera, J.L.; Carballo, J.M.; Peinado, M. y Tíno, J.M. (1975): Los materiales graníticos del Sistema Central Español. *Mem. Inst. Geol. Min. España*, 88: 1-145.
- Barrera, J.L.; Bellido, F. y Peinado, M. (1981): Variaciones mineralógicas y químicas de enclaves microgranulares de los granitoides tardihercánicos del Sistema Central Español. *Cuad. Geol. Ibérica*, nº 7: 235-255.
- Casillas, R.; Peinado, M. y Brande, J.L. (1989): Génesis y evolución de la asociación calcoalcalina del sector occidental de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). *Stud. Geol. Salmant. Univ. Salamanca*, vol. esp.: 63-82.
- Casillas, R. (1990): *Las asociaciones plutónicas tardihercánicas del sector occidental de la Sierra de Guadarrama-Sistema Central Español*, (Las Navas del Marqués- San Martín de Valdeiglesias). *Petrología, Geoquímica, Génesis y Evolución*. Tesis, Univ. Complutense de Madrid: 316 pp.
- Franco, P. y Sánchez García, T. (1987): Características petrológicas del área del Mirón (N. del valle de Corneja, Prov. de Avila). En: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Libro homenaje a L.C. García de Figuerola. Ed. Rueda: 293-313.
- Huebner, J. S. (1982): Pyroxene phase equilibria at low pressure. In: pyroxenes. *Reviews in Mineralogy*, vol 7. Rewitt Ed: 213-288.
- ITGE, (1990a): *Mapa y Memoria explicativa de la Hoja de Las Navas del Marqués (532)*. Mapa Geológico nacional a escala 1:50.000, ITGE, Madrid.
- ITGE, (1990b): *Mapa y Memoria explicativa de la Hoja de San Martín de Valdeiglesias (557)*. Mapa Geológico nacional a escala 1:50.000, ITGE, Madrid.
- Ktetz, R. (1982): Transfer and exchange equilibria in a portion of the pyroxene quadrilateral as deduced from natural and experimental data. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 411-421.
- Linsley, D.H. y Andersen, (1980): A two pyroxene thermometer. *Jour. Geophys. Res.*, 88: A887-A906.
- Linsley, D.H. (1983): Pyroxene thermometry. *Amer. Miner.*, 88: 477-493.
- Morimoto, N.; Fabries, J.; Ferguson, A.K.; Ginzburg, I.V.; Ross, M.; Feifert, F.A.; Zussman, J.; Aoki, K. y Gottardi, G. (1988): Nomenclature of pyroxenes. *Amer. Miner.*, 73: 1123-1133.