Nuevos datos petrológicos, geocronología (Rb-Sr) y geoquímica isotópica (Sr, Nd) del plutón de Ventosilla (Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español)

New petrological data, Rb-Sr geochronology and isotope geochemistry (Sr, Nd) of the Ventosilla pluton (Sierra de Guadarrama, Spanish Central System)

C. Villaseca (*), L. Barbero (**), J. Reyes (***) y J. F. Santos Zalduegui (****)

(*) Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid
(**) Dpto. Geología, Facultad CC. del Mar, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz
(***) ITGE, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid
(****) CAI Geocronología y Geoquímica Isotópica, Universidad Complutense, 28040 Madrid

ABSTRACT

Whole rock Rb-Sr isotopic analyses on granites from Ventosilla pluton yield an age of 346 ± 63 Ma, and intercept at 0.708688 ± 0.00094. This age increases the time-span of the Hercynian plutonism in the area up to 70 Ma. The presence of a complex residual mineralogy and their Sr and Nd isotopic signatures, overlapping the previous isotopic data on peraluminous granites from the Spanish Central System, suggest melting of mainly crustal sources for the origin of this pluton.

Key words: *whole rock Rb-Sr geochronology, Nd isotopes, Late Hercynian magmatism*

Geogaceta 23 (1998), 169-172
ISSN: 0213683X

Introducción

El plutón tonalítico-granodiorítico de Ventosilla (Segovia), es uno de los afloramientos ígneos más septentrionales de la Sierra de Guadarrama y uno de los escasos cuerpos plutónicos tonalíticos de cierta envergadura (Fig. 1). No obstante, su afloramiento no supera los 2 km^2 debido al recubrimiento inconforme por materiales sedimentarios Mesozoicos (Fig. 1).

En los primeros trabajos detallados sobre este plutón, Rubio (1979) y Fúster y Rubio (1980) hacen un pormenorizado estudio cartográfico y petrológico de las rocas graníticas y encajantes. En este trabajo se añade un estudio isotópico de Sr-Nd de las muestras analizadas por dichos autores, se revisan aspectos petrográficos y geoquímicos del plutón, y se obtiene, por primera vez, una edad Rb-Sr para estos materiales. Finalmente, se discuten ciertos aspectos relacionados con el origen de este plutón.

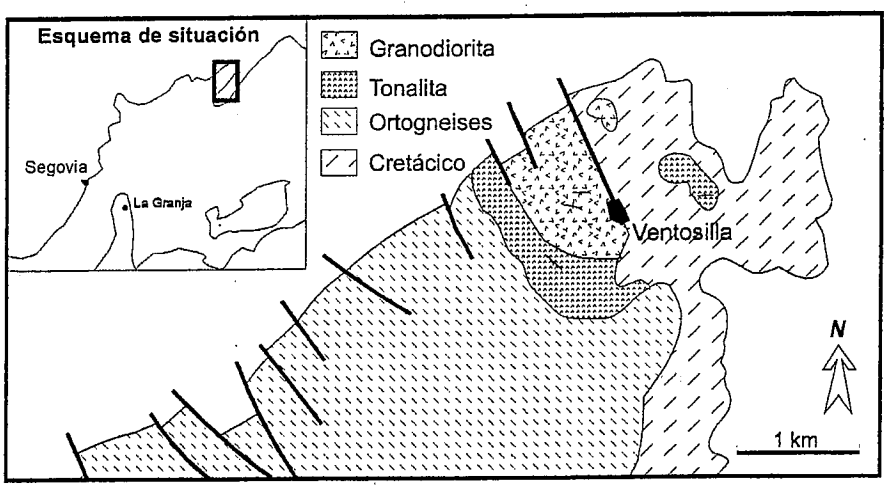

Fig. 1- Mapa geológico del plutón de Ventosilla, modificado de Fúster y Rubio (1980).

Fig. 1.- Geological sketch of Ventosilla pluton, modified after Fúster and Rubio (1980)

Caracterización petrográfica

Fúster y Rubio (1980) definen al plutón de Ventosilla como una intrusión estructuralmente isótropa y discordante, sin aureola de contacto y con una transición rápida, pero no neta, con los ortogneises encajantes. Igualmente describen la existencia de una zona de borde, de decenas de metros de espesor, de composición tonalítica. Con los datos actuales se puede decir que el plutón de Ventosilla presenta un contacto intrusivo neto en los ortogneises Cadomienses encajantes. Los datos de campo y petrográficos apuntan tanto a un carácter zonado del plutón, en el sentido descrito por Fúster y Rubio (1980), como a la existencia de un cierto flujo ígneo, ocasionalmente plano-linear, subparalelo a los márgenes del plutón (Fig. 1).

La roca tonalítica es de grano fino y

	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	ε_{Nd} (345 Ma)
60864*	74	369	0.5830	0.711360	5.56	25.97	0.129400	0.512206	-5.42
60121	77	409	0.5451	0.711220	5.47	25.09	0.131790	0.512214	-5.37
64255	77	438	0.5090	0.711482	4.92	24.65	0.120656	0.512246	-4.25
62511	135	275	1.4220	0.715983	4.48	20.91	0.129515	0.512194	-5.66
64256	144	258	1.6169	0.716433	4.49	20.18	0.134499	0.512200	-5.77

* Datos analíticos de Villaseca et al. (in press)

Tabla 1.- Contenidos de Rb, Sr, Sm y Nd y relaciones isotópicas de Sr y Nd de muestras del plutón de Ventosilla

Table 1.- Rb, Sr, Sm, Nd contents and Sr - Nd isotopic ratios from samples of Ventosilla pluton

relativamente heterogranular, con algunos cristales mayores de feldespato (de hasta 4 a 5 cm), con bordes corroídos y pequeños ribetes máficos ocasionales. En la zona interna, más félsica, de composición granodiorítica, la roca adquiere un aspecto microporfídico con típicos cristales subidiomorfos de feldespato de 0.5 a 1 cm de longitud media. Estas granodioritas pueden presentar una textura en "dos tiempos" y numerosos microagregados biotíticos. En todo el plutón aparecen abundantes xenolitos metamórficos, enclaves micáceos, algunos enclaves ígneos variados (generalmente de aspecto autolítico) y algún glóbulo de cuarzo de hasta 4 cm de diámetro.

Ya en los primeros trabajos se destaca el carácter anfibólico del plutón, cuya mineralogía fundamental está constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y anfíbol. Los minerales accesorios típicos son apatito, circón, esfena, ilmenita, magnetita y otros opacos.

La plagioclasa presenta un zonado de tipo oscilatorio complejo de An_{60} a An_{30} con algún pequeño ribete de composición más albítica, que trunca el zonado más interno. El anfíbol, con frecuencia orlado por la biotita, es de composición Mg-hornblenda transitando a cristales incoloros de actinolita (Fig. 18 de Villaseca *et al.*, 1993). La biotita es pobre en Al (< 0.23 p.f.u. Al^{VI}), proyectándose en campos de biotitas de series subalcalinas en el diagrama de Nachit *et al.* (1985). Villaseca *et al.* (1993) señalan la presencia relicta de clinopiroxenos y ortopiroxenos incluidos en zonas de núcleo o intermedias de cristales de plagioclasa. Casillas (1993) analiza dichos cristales dando composiciones para los clinopiroxenos de $Wo_{43}En_{36}Fs_{20}$; los ortopiroxenos presentan dos composiciones distintas alrededor de En_{53} y En_{73} (Fig. 1 de Casillas, 1993). Este autor apunta condiciones ígneas de equilibrio entre los piroxenos cercanas a 900 - 1000° C de temperatura.

Asimismo, hemos encontrado un megacristal (2 cm) metaestable de anfíbol marrón-pardo, aureolado por una corona de reacción biotítico-anfibólica con plagioclasa de composición muy anortítica (An_{80-85}). Este megacristal es de composición titano-pargasítica, con 0.31 de Ti p.f.u. y 1.80 de Al p.f.u., que indicaría temperaturas próximas a 910° C según el geotermómetro de Otten (1984) y presiones de unos 8 kbar según el geobarómetro de Schmidt (1992). Tanto este tipo de anfíbol como los piroxenos pueden interpretarse bien como minerales líquidus de primera cristalización transportados a niveles más someros, o bien como minerales restíticos del protolito de fusión que genera estas rocas. Un origen xenocristalino para estos minerales parece mucho menos probable, dada la ausencia de materiales de tipo metabásico o afín en las series metamórficas aflorantes en el sector.

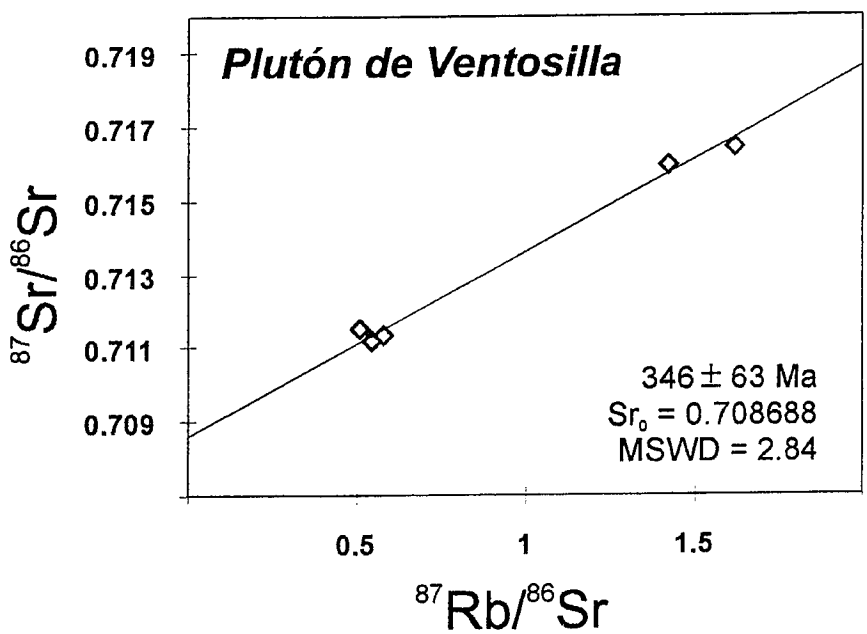

Fig. 2.- Isocrona Rb-Sr de los granitos del plutón de Ventosilla

Fig. 2.- Rb-Sr isochron of Ventosilla granites

Características geoquímicas

El plutón de Ventosilla es el único plutón metalumínico de la Sierra de Guadarrama que no es de composición básica. El contenido en SiO_2 varía desde términos intermedios con 60.5 % hasta términos ácidos con 70.5 % (Fúster y Rubio, 1980). Por este carácter intermedio y metalumínico ha sido agrupado en el conjunto de plutones básicos e intermedios de afinidad calcoalcalina de la Sierra de Guadarrama (Casillas, 1989; Villaseca *et al.*, 1993). Las facies internas, más ácidas, pueden llegar a ser de composición subalumínica (ver Fig. 16 en Villaseca *et al.*, 1993). Los bajos valores del índice de peraluminicidad de estas rocas están relacionados con el bajo contenido en Al_2O_3 (< 16.4%) y con los relativamente altos contenidos en CaO del plutón. En cuanto a otros elementos mayoritarios es de destacar los contenidos relativamente bajos en K_2O (2.3 a 3.5 %) y relativamente altos en P_2O_5 (0.12 a 0.24 %).

En cuanto a contenidos en elementos trazas, el carácter más destacable son los altos contenidos en Sr (hasta 438 ppm, Tabla 1) que los separa claramente del resto de las rocas plutónicas del sector, que nunca sobrepasan las 250 ppm de Sr. Los bajos contenidos en Zr, Rb y TR pe-

sadas son también característicos de esta serie. De hecho, el espectro normalizado de TR no cambia sustancialmente su grado de fraccionamiento desde los tipos tonalíticos $(La/Lu)_n \cong 8.2$ a los granodioríticos $(La/Lu)_n \cong 9.5$ (Casillas *et al.*, 1991).

Geoquímica isotópica

Métodos analíticos

Las determinaciones isotópicas se han realizado en el CAI de Geoquímica Isotópica de la UCM. El procedimiento analítico de disolución, concentración y separación de Sr y Nd está descrito en Reyes *et al.* (1997).

Las medidas de las relaciones isotópicas de Sr y Nd se han efectuado en un espectrómetro de masas VG SECTOR 54 equipado con cinco cápsulas de Faraday, utilizando una rutina de análisis dinámico. En el curso del trabajo analítico las medidas de relaciones $^{87}Sr/^{87}Sr$ del patrón NBS987 dieron valores de 0.710256 ± 8 (2σ, n=27) y las de $^{143}Nd/^{144}Nd$ de un patrón de Johnson and Matthey arrojaron valores de 0.511810 ± 4 (2σ, n=16).

Los contenidos de Rb y Sr de las muestras fueron medidos en las dos caras de pastillas de polvo de roca mediante técnicas de fluorescencia de rayos X en los laboratorios químicos del ITGE. El porcentaje de error medio en la relación Rb/Sr de la roca es de aproximadamente 1.1 %. Los contenido en Sm y Nd se determinaron mediante ICP-MS en los laboratorios del CNRS de Nancy (Francia).

Geocronología Rb-Sr

En la tabla 1 están recogidas las concentraciones de Rb y Sr, las relaciones $^{87}Rb/^{86}Sr$ y $^{87}Sr/^{86}Sr$, así como los contenidos de Sm y Nd, y las relaciones $^{147}Sm/^{144}Nd$ y $^{143}Nd/^{144}Nd$ de cinco muestras del plutón de Ventosilla.

Las cinco muestras analizadas se proyectan alineadas en un diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs. $^{87}Rb/^{86}Sr$ (Fig. 2). La recta de regresión que se obtiene proporciona una edad de 346 ± 63 Ma con una relación inicial de $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0.708688 ± 0.00094 y un valor de MSWD de 2.84 (el valor crítico de MSWD en isocronas con 5 muestras es 2.68, Cahen *et al.*, 1984). El ajuste de la recta de regresión se ha realizado mediante el método de York (1966), asumiendo errores 1σ de 1.1 % en la relación $^{87}Rb/^{86}Sr$ y de 0.05% para la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Esta edad es la más antigua de todas las obtenidas para los plutones tardihercínicos (post-pico metamórfico) de la Sierra de Guadarrama (Villaseca *et al.*, 1995). Si esta edad calculada es correcta, el inicio del plutonismo post-pico metamórfico sería unos 20 Ma más joven que lo supuesto en trabajos previos (Casillas *et al.*, 1991; Villaseca *et al.*, 1995), y ampliaría el periodo de actividad intrusiva Hercínica hasta alcanzar casi 70 Ma, comprendidos entre los 346 Ma del plutón de Ventosilla (este trabajo) y los 284 Ma del plutón de Atalaya Real (Villaseca *et al.*, 1995).

La edad de 346 Ma es ligeramente superior a la que Valverde Vaquero *et al.* (1996) obtienen para el pico metamórfico hercínico, 337 ± 2 Ma, mediante U-Pb en monacitas de gneises de alto grado en regiones próximas (Buitrago). Conviene recordar que el plutón de Ventosilla es claramente intrusivo y discordante con las series metamórficas del encajante. Igualmente, las características texturales del plutón parecen indicar un emplazamiento relativamente epizonal del mismo. Todas estos datos nos inducen a pensar que es necesaria una confirmación de la edad obtenida mediante un muestreo más amplio o mediantes otras técnicas alternativas como U-Pb en minerales accesorios (circón, esfena).

Geoquímica isotópica Sr-Nd

A la edad de emplazamiento la relacion $^{87}Sr/^{86}Sr$ del plutón es de 0.70869. Este valor es relativamente elevado para un plutón tonalítico-granodiorítico de supuesta afinidad calcoalcalina. Sin embargo, coincide con las relaciones iniciales de Sr obtenidas en otros cuerpos monzograníticos de la Sierra de Guadarrama, para los que se invoca un origen por fusión de materiales corticales (Villaseca *et al.*, remitido).

En cuanto a relaciones iniciales de Nd a la edad de 346 Ma, expresadas en términos de ε_{Nd} (Tabla 1), éstas varían entre -4.3 y -5.8, con un valor medio de -5.5. Estos valores de ε_{Nd} obtenidos son, así mismo, coincidentes con los de plutones graníticos del sector (Fig. 3), (Casillas *et al.*, 1991; Villaseca *et al.*, remitido). La coincidencia en valores isotópicos de Sr y Nd de las tonalitas - granodioritas de Ventosilla con los plutones más félsicos del sector indica una problemática común para la génesis del plutonismo hercínico de la Sierra de Guadarrama.

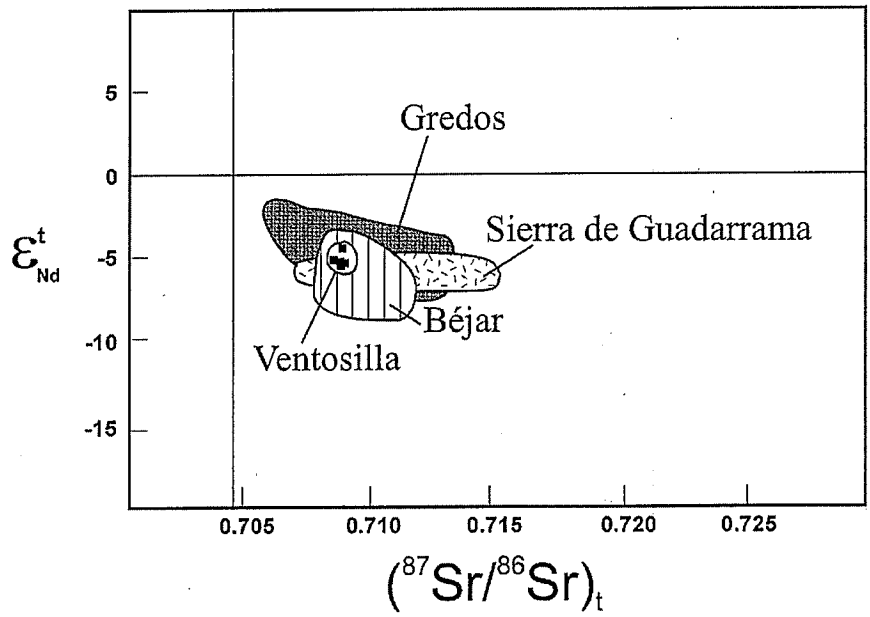

Fig. 3.- Diagrama $(\varepsilon_{Nd})t$ - $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ del plutón de Ventosilla en comparación con otros granitoides del Sistema Central Español: Béjar (Pinarelli y Rottura, 1995), Gredos (Moreno-Ventas *et al.*, 1995) y Sierra de Guadarrama (Casillas *et al.*, 1991; Villaseca *et al.*, remitido).

Fig. 3.- $(\varepsilon_{Nd})t$ vs. $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ diagram of Ventosilla granites compared to other granitoids from the Spanish Central System: Béjar (Pinarelli and Rottura, 1995), Gredos (Moreno-Ventas et al., 1995) and Sierra de Guadarrama (Casillas* et al., *1991; Villaseca* et al., *submitted).

Discusión

Los datos isotópicos Sr-Nd del plutón de Ventosilla sugieren una participación poco importante de material de derivación mantélica. Tanto las relaciones isotópicas de Sr como de Nd están alejadas de los valores condríticos que muestran los materiales gabroides más primitivos del Sistema Central Español (Moreno Ventas *et al.*, 1995; Barbero y Rogers,

1996). Una hipótesis de mezcla o procesos ACF entre un polo mantélico (de composición condrítica como parece ser el manto infracontinental del área) y protolitos corticales variados (metapelitas, ortogneises), requerirían valores de 40 - 60% de contribución mantélica (Villaseca *et al.*, remitido), que no se soporta por los datos geológicos del sector. A este respecto es significativo resaltar la ausencia de enclaves de tipo microgranular máfico, en sentido estricto, en los granitoides de Ventosilla.

La presencia de minerales restíticos como clinopiroxeno, ortopiroxeno y anfíbol pargasítico, generalmente indicando condiciones térmicas no superiores a los 950° C, así como la presencia esporádica de glóbulos de cuarzo, podría ser consistente con una derivación por fusión parcial de materiales corticales que dejarían un residuo granulítico de carácter piroxénico - anfibólico. Las condiciones estimadas de 900-950° C para el equilibrio de las paragenesis restíticas (o en su caso, cristales próximos a condiciones líquidus), son las que cabría esperar en niveles infracorticales de un segmento orogénico que ha sufrido un fuerte engrosamiento, superior al doble del grosor original de la corteza (Villaseca y Barbero, 1994).

El protolito que podría generar esta serie metalumínica de composición intermedia en SiO_2 debe ser, por una parte, un material muy escaso en las series metamórficas susceptibles de fundir en niveles inferiores de la corteza, y por otra, debe tener una composición global algo más básica que los que originan el gran volumen de granitoides peralumínicos del sector. Su composición ha de ser metabásica y debiera contener un volumen significativo de minerales hidratados de tipo anfíbol o mica que pudieran inducir o promover la fusión parcial en niveles corticales que deben ser esencialmente anhidros. Curiosamente, siendo probable la participación de un protolito metabásico (por ejemplo una metagrauvaca o una cuarzoanfibolita) en la génesis del plutón de Ventosilla, su composición isotópica en términos de Sr y Nd no se distinguiría de la de los protolitos más ácidos que originan el volumen principal de granitoides peralumínicos (Villaseca *et al.*, remitido).

Agradecimientos

Este trabajo se incluye dentro de los objetivos del proyecto DGICYT PB93-0295-CO2.

Referencias

Barbero, L. y Rogers, G. (1996): *Geogaceta*, 20 (3), 703-706.

Cahen, L., Snelling, N.J., Delhal, J. y Vail, J.R. (1984): *The Geochronology and evolution of Africa*, Clarendon Press, Oxford, 357 pp.

Casillas, R. (1989): *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense de Madrid, 316 pp.

Casillas, R. (1993): *Geogaceta*, 14, 136-139

Casillas, R., Vialette, Y., Peinado, M., Duthou, J.L. y Pin, C. (1991): *Abstract. Soc. Geol. France (à la mémoire de Jean Lameyre).*

Casillas, R., Brändle, J.L., Huertas, M.J., Peinado, M., Pérez-Soba, C. y Villaseca, C. (1991): *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, 14, 261-271.

Fúster, J.M. y Rubio, J.I. (1980): *Bol. Inst. Geol. Min.*, 91, 494-502.

Moreno-Ventas, I., Rogers, G. y Castro, A. (1995): *Contrib. Mineral Petrol.*, 120, 137-149.

Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M. y Carron, J.P. (1985): *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, 813-817.

Otten, M.T. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 189-199.

Pinarelli, L y Rottura, A. (1995): *Eur. J. Mineral.*, 7: 577-589.

Reyes, J., Villaseca, C., Barbero, L., Quejido, A., y Santos, J.F. (1997): *VII Congr. Geoq. España*, 46-55.

Rubio, J.I. (1979): *Tesis Licenciatura*, Universidad Complutense de Madrid, 133 pp.

Schmidt, M.W. (1992): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110: 304-310.

Valverde Vaquero, P., Dunning, G., Hernáiz, P.P., Escuder, J. y Rodríguez, R. (1996): *Geogaceta*, 20, 883-886.

Villaseca, C. y Barbero, L (1994): *Geogaceta*, 16: 27-30.

Villaseca, C., Barbero, L. y Rogers, G. *Lithos*, (remitido).

Villaseca, C., Barbero, L., Huertas, M.J., Andonaegui, P. y Bellido, F. (1993): *Servicio de Publicaciones del CSIC*, 122 pp.

Villaseca, C., Eugercios, L., Snelling, N.J., Huertas M.J. y Castellón, T. (1995): *Rev. Soc. Geol. España*, 8, 137-148.

York, D. (1966): *Can. J. Phys.*, 44: 1079-1086.

Pregunta.- (F. Bellido): ¿ Que tipo de enclaves metamórficos son los que se encuentran en el plutón de Ventosilla?, ¿Hay datos sobre la composición de las biotitas de los enclaves ricos en micas?.

Respuesta.- (C. Villaseca): Los xenolitos metamórficos encontrados suelen ser de tipos meta-igneos encajantes (ortoneises glandulares leuconeises) y tipos neísicos dudosos (paraneises). Igualmente hay enclaves micáceos y glóbulos de cuarzo que en parte deben proceder de materiales metasedimentarios. Sobre la composición de la biotita en estos últimos enclaves no disponemos actualmente de datos químicos.