

# Edad y composición del volcán de Bienvenida (Campos de Calatrava)

## *Age and composition of the Bienvenida volcano (Campos de Calatrava)*

Benjamin Keenan, María José Huertas Coronel y Eumenio Ancochea Soto

Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

benkeenan@live.co.uk; huertas@ucm.es; eancochea@ucm.es.

### ABSTRACT

*Bienvenida volcano, one of the more representative olivine melilitite volcanoes of the volcanic region of Campos de Calatrava, has been radiometrically dated (K/Ar). The rock and main mineral phases have been analysed, which has allowed us to obtain information about the conditions of formation.*

**Key-words:** Campos de Calatrava, Bienvenida volcano, K/Ar age, melilitites.

### RESUMEN

*Se ha datado radiométricamente (K/Ar) el volcán de Bienvenida, uno de los volcanes de melilititas olivínicas más representativo de la región volcánica de Campos de Calatrava. Se ha analizado la roca y las principales fases minerales, lo que ha permitido obtener información sobre las condiciones de formación.*

**Palabras clave:** Campos de Calatrava, Volcán de Bienvenida, edad K/Ar, melilititas.

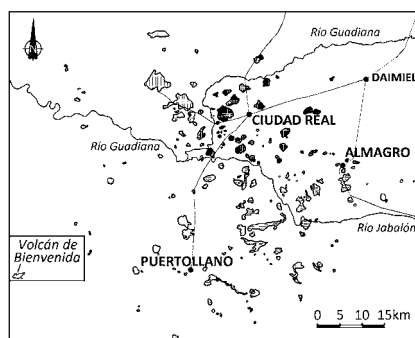
*Geogaceta*, 65 (2019), 23-26  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 1 de junio de 2018  
Revisión: 23 de octubre de 2018  
Aceptación: 23 de noviembre de 2018

## Introducción

La Región Volcánica Central Española o de los Campos de Calatrava se encuentra ubicada en la provincia de Ciudad Real, entre los Montes de Toledo y Sierra Morena (Fig. 1). Sus características generales fueron estudiadas por Hernández Pacheco (1932) y Ancochea (1982) y sus aspectos composicionales y petrogenéticos por Ancochea (1982), Cebriá (1992), Cebriá y López Ruiz (1995).

Son varios los trabajos posteriores que han contribuido a un mejor conocimiento de la región volcánica, en temas como ambiente geodinámico, vulcanología, petrogénesis, estructura, etc. Sin embargo, existen lagunas notables en lo referente a otros aspectos, como el de las dataciones radiométricas (escasas y antiguas) o el de la composición de detalle de la mayoría de los volcanes. El presente trabajo forma parte de una serie de estudios que tiene como finalidad cubrir paulatinamente esas lagunas. El haber elegido el volcán de Bienvenida es debido a su posición extrema dentro de la región y a que tiene la consideración legal



**Fig. 1. Situación del volcán de Bienvenida en la Región Volcánica Central Española (Ancochea, 1982).**

*Fig. 1. Location of the Bienvenida volcano in the Spanish Central Volcanic Region (Ancochea, 1982).*

de "Monumento Natural de Los Castillejos Volcánicos de Bienvenida" lo que añade un interés adicional a su estudio.

## El volcán de Bienvenida

El volcán de Bienvenida es el más occidental de toda la región volcánica (4° 31' longitud Oeste) (Fig. 1). Está formado por los restos de un edificio estromboliano con varias bocas eruptivas, que están alineadas en una fractura de dirección aproximada

N45°. En la actualidad esas bocas eruptivas se corresponden con tres pequeños cerros de traza elíptica o circular, de 100-200 metros de diámetro y de 15 a 40 metros de altura, formados por rocas volcánicas masivas, resistentes a la erosión, que localmente se denominan "castillejos" por el aspecto de fortaleza que presentan (Fig. 2). De la boca eruptiva más noroccidental se emitieron coladas que descendieron en dirección NO hasta 1 km.

Sobre el volcán, junto al castillejo más suroriental, existen ruinas romanas de la que se supone fue la ciudad de "Sisapo" (Fig. 2). Hay indicios de ocupaciones previas tartésicas y posteriores visigóticas, que van desde el siglo VII a.C. hasta el siglo IV.

## Edad K/Ar

Existen aproximadamente una docena de dataciones radiométricas K/Ar de rocas de esta región, la mayor parte de ellas publicadas por Ancochea *et al.* (1979) y que definen dos periodos principales de actividad volcánica: uno, en el Mioceno (sobre los 7 Ma) y al que sólo



Fig. 2. Volcán de Bienvenida. En la foto de la izquierda se ven los "castillejos" más occidentales. En la foto de la derecha el "castillejo" más oriental, con las ruinas romanas en primer término. Ver figura en color en la web.

Fig. 2. Bienvenida volcano. In the photo on the left, you can see the most western "castillejos". In the photo on the right, the most eastern "castillejo", with the Roman ruins in the foreground. See color figure in the web.

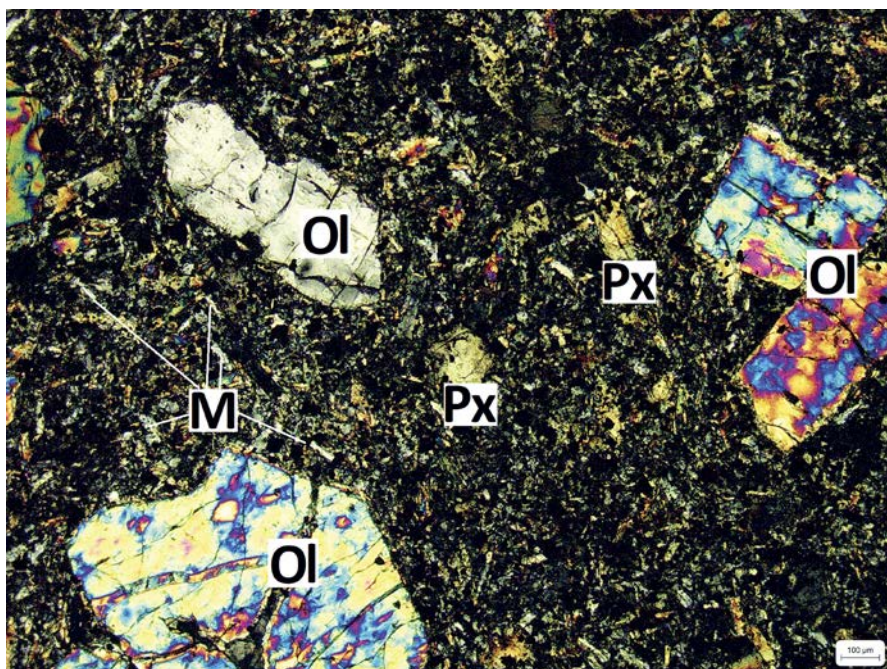


Fig. 3. Aspecto al microscopio de las melilititas: fenocristales de olivino (Ol), microfenocristales de clinopiroxeno (Px) y matriz con melilita (M), clinopiroxeno, nefelina y minerales opacos. Ver figura en color en la web.

Fig. 3. Microphotograph of the melilitites: olivine phenocrystals (Ol), clinopyroxene microphenocrystals (Px) and matrix with melilite (M), clinopyroxene, nepheline and opaque. See color figure in the web.

pertenece el Morrón de Villamayor y otro, el más importante, de edad plio-pleistocena.

La edad del volcán de Bienvenida se determinó en la matriz de una muestra de la colada, en el *Mass Spec. Services* (USA), mediante el método K/Ar. La edad obtenida,  $2,57 \pm 0,38$  Ma, corresponde al momento central del segundo periodo de actividad. Los datos analíticos son los siguientes: K = 0,72%;  $^{40}\text{Ar}^* = 0,007 \text{ scc/gr} \times 10^{-5}$ ;  $^{40}\text{Ar}^* = 12\%$ .

*Composición*

Las rocas del volcán de Bienvenida son petrográficamente melilititas olivínico nefelínicas. Se trata de rocas porfídicas, con fenocristales de olivino de 1 a 3 mm de tamaño y de clinopiroxeno de 0,5 a 1,5 mm, en una matriz microcristalina (Fig. 3). La mayor parte de los fenocristales de olivino y clinopiroxeno son subidiomorfos o aliotromorfos y los microfenocristales idiomorfos o subidomorfos. La matriz está compuesta por cristales idio-

morfos y tabulares de melilita (~0,1-0,15 mm) y nefelina (0,03-0,15 mm) junto a cristales prismáticos de clinopiroxeno (~0,15 mm), óxidos de Fe y Ti y perovskita.

	%		ppm
SiO <sub>2</sub>	37,37	Sc	23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,31	V	266
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,48	Cr	380
FeO	7,84	Co	52
MnO	0,19	Ni	250
MgO	13,57	Ga	18
CaO	15,78	Rb	22
Na <sub>2</sub> O	2,66	Sr	1458
K <sub>2</sub> O	1,00	Y	29,4
TiO <sub>2</sub>	2,98	Zr	292
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,52	Nb	96,6
LOI	1,3	Cs	0,3
Total	97,00	Ba	804
		La	89,1
<b>Norma CIPW (%)</b>			
Or	-	Pr	20,3
Ab	-	Nd	76,7
An	11,00	Sm	13,6
Lc	4,82	Eu	4,15
Ne	12,74	Gd	10,3
Di	27,59	Tb	1,39
Hy	-	Dy	6,98
Ol	21,04	Ho	1,13
Ln	7,94	Er	2,65
He	-	Tm	0,341
Mt	5,28	Yb	1,99
Il	5,91	Lu	0,309
Ap	3,68	Hf	5,8
		Ta	6,09
		Tl	0,33
		Th	9,55
		U	3,4

Tabla I.- Composición química y Norma CIPW de la roca datada (muestra 46273).

Table I.- Chemical composition and CIPW norm of the dated rock (sample 46273).



	Olivino	Piroxeno	Nefelina
(n)	48	51	19
SiO <sub>2</sub>	39,59	46,19	41,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	5,78	33,00
FeO	13,44	5,97	1,01
MnO	0,25	0,09	0,02
MgO	46,10	13,47	0,18
CaO	0,54	24,52	0,38
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,44	15,21
K <sub>2</sub> O	0,02	0,02	8,73
TiO <sub>2</sub>	0,05	3,15	0,11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,07	0,01
Total	100,10	99,69	99,79
	Melilita	Oxidos	Perovsk.
(n)	26	8	2
SiO <sub>2</sub>	41,80	0,11	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,57	1,29	0,35
FeO	3,44	66,20	1,24
MnO	0,09	1,17	0,07
MgO	8,12	3,64	0,03
CaO	34,65	0,27	37,88
Na <sub>2</sub> O	3,73	0,08	0,56
K <sub>2</sub> O	0,13	0,02	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,14	21,02	57,72
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,22	
Total	98,67	95,02	97,91

**Tabla II.- Composición media de las principales fases minerales. (n) = número de minerales analizados.**  
*Table II.- Average composition of the main mineral phases. (n) = number of minerals analyzed.*

Existen publicados dos análisis químicos de roca total de este volcán, uno en Ancochea (1982) y otro en Cebriá (1992), pero ambos son bastante incompletos. En la tabla I se presenta un nuevo análisis, más completo, realizado en los laboratorios de *Actlabs* (Canadá). Las proporciones de FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> han sido recalculadas con el método de Le Maitre (1976).

La composición química de esta roca es la de una foidita (según el diagrama TAS). Se trata de una roca muy subsaturada y notablemente enriquecida en elementos incompatibles, como P o LREE ((La/Yb)<sub>n</sub> = 30), cuyo bajo contenido en SiO<sub>2</sub>, elevado en CaO y presencia de larnita normativa son características de las melilititas olivínicas. Su elevado valor-MG (68-69) y las elevadas concentraciones en Ni (>250 ppm) y Cr (380-480 ppm) indican que se trata de un magma muy primario, que apenas ha experimentado procesos de evolución magmática.

Se ha determinado la composición química de más de 150 cristales de minerales cuyas composiciones medias figuran en la tabla II.

Los olivinos están parcialmente alterados a iddingsita, tienen una composición bastante homogénea, variando de Fo<sub>84</sub>-Fo<sub>91</sub>

(media Fo<sub>87</sub>) en los núcleos, a Fo<sub>80</sub>-Fo<sub>88</sub> (media Fo<sub>85</sub>) en los bordes. No presentan características de olivinos mantélicos (xenolíticos), pues no tienen ni corrosiones marcadas, ni extinción ondulante y tienen, además, bajos contenidos en Ni y en Cr.

Los clinopiroxenos son diópsidos, con elevados contenidos en Wo (Fig. 4A) y escasa variación de núcleo a borde, siendo los bordes sólo ligeramente más ricos en Wo y Fs (media de los núcleos: Wo<sub>51</sub>En<sub>40</sub>Fs<sub>9</sub>, media de los bordes: Wo<sub>52</sub>En<sub>38</sub>Fs<sub>10</sub>). Las nefelinas aparecen en la matriz con una morfología subsférica. Tienen una composición homogénea (media Ne<sub>72</sub>Ks<sub>27</sub>Q<sub>1</sub>) (Fig. 4C), muy próxima a las proporciones Ne<sub>75</sub>:Ks<sub>25</sub> que caracteriza a las nefelinas de baja temperatura (Hamilton, 1961). También la composición de las melilitas es homogénea; son ricas en akermanita y Na-melilita (media Ak<sub>54</sub>Na-Mel<sub>33</sub>Fe-Ak<sub>13</sub>), se proyectan dentro del campo composicional de las melilitas volcánicas (Velde y Yoder, 1977) (Fig. 4B), y análogas a las de otras regiones volcánicas similares, como las de Alemania (p. ej., Dunworth y Wilson, 1998) o las del Macizo de Bohemia (Skala *et al.*, 2015). Se observa en ellas un pequeño incremento en el contenido en Na, K y Fe del núcleo hacia el borde de los cristales.

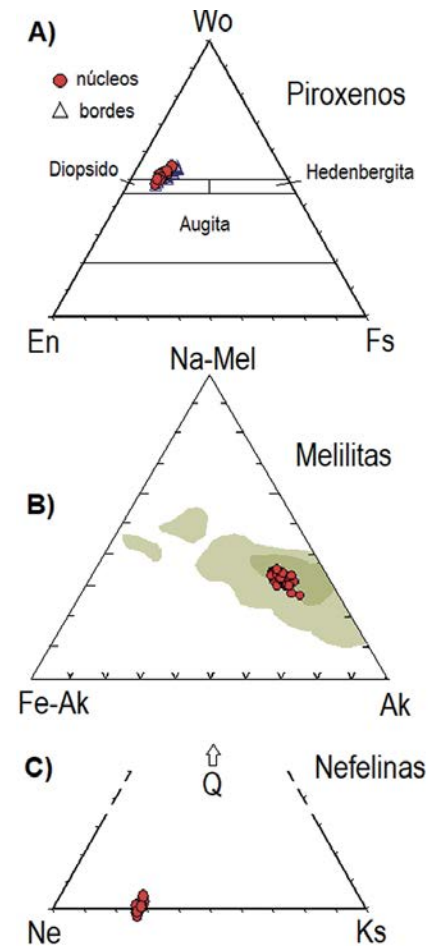
**Condiciones de formación**

Para estas rocas, que tienen un valor Mg# próximo a 69, los olivinos que contienen más del 87% de Fo están en equilibrio con la composición del líquido (Roeder y Emslie, 1970), por lo que buena parte de ellos están en equilibrio o próximo a él (media de los núcleos: Fo<sub>87</sub>). A partir del contenido en MgO de líquidos que tienen olivinos en equilibrio, se puede calcular que las temperaturas del líquido del volcán de Bienvenida se encontraban entre 1300°C y 1304°C, según Helz y Thornber (1987), entre 1339°C y 1344°C, según Montierth *et al.* (1995) o entre 1369°C y 1374°C ± 71°C según Putirka (2008), temperaturas, respectivamente, para las rocas 46272 y 46273. Por otra parte, la temperatura de cristalización calculada para los olivinos en equilibrio con el líquido, según el termómetro de Putirka (2008) es de 1365° a 1382°C, con una media de 1374°C.

En el caso de los clinopiroxenos, aplicando los termobarómetros de Putirka (2008), se observa que los clinopiroxenos no están en equilibrio con la composición

del magma representada por el análisis de roca total. Era algo esperable, pues estos aparecen esencialmente como microfeno-cristales o en la matriz (Fig. 3), por lo que su cristalización tuvo lugar cuando, al menos, una buena parte de los fenocristales de olivino ya estaban formados. Pero se puede intentar reconstruir la composición del líquido cuando cristalizó el piroxeno, extrayendo olivino u olivino y algo de clinopiroxeno del líquido inicial.

Se han reconstruido esas composiciones extrayendo porcentajes sucesivos de olivino, hasta que cada piroxeno concreto ha estado en equilibrio con un líquido recalculado. De ese modo, se ha logrado alcanzar esos equilibrios extrayendo entre un 15% y un 20% de olivino, según cada caso. Las



**Fig. 4. Variación composicional de piroxenos (4A), melilitas (4B) y nefelinas (4C). En la figura 4B se marcan con sombreado las composiciones más frecuentes de las melilitas volcánicas, según Velde y Yoder (1977). Ver figura en color en la web.**

*Fig. 4. Compositional variation of pyroxenes (4A), melilitas (4B) and nephelines (4C). In figure 4B the most frequent compositions of the volcanic melilitas are marked with shading, according to Velde and Yoder (1977). See color figure in the web.*

temperaturas de formación obtenidas varían entre 1139°C y 1212°C, con una media de 1173°C y las presiones entre los 0,9 GPa y los 2,0 GPa, con una media de 1,3 GPa. La mayor parte de los piroxenos (el 75%) se formaron entre 25 km y 45 km, con un máximo entre 30 km y 35 km (Fig. 5). Esas profundidades coinciden con las calculadas para la base de la corteza en Campos de Calatrava, unos 32 km (Ehsan *et al.*, 2014).

Brey (1978) destacó la importancia que tiene el CO<sub>2</sub> en la génesis de los magmas meliliticos y Wilson *et al.* (1995) propusieron que las melilitas olivínicas representan fundidos parciales de un manto peridotítico/piroxénico carbonatado de la base de la litosfera (en la "thermal boundary layer"). En ese contexto, en el diagrama SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO / MgO de Gudfinnsson y Presnall (2005), las rocas del volcán de Bienvenida se sitúan en la zona característica de formación de las melilitas y sobre la isobara de 3 GPa (Fig. 6). Es decir, se podrían haber formado sobre los 80 km de profundidad. Carballo *et al.* (2015) sitúan la base de la litosfera en la zona de Campos de Calatrava a unos 100 km de profundidad.

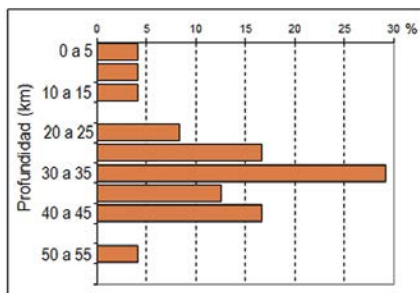


Fig. 5. Profundidades de formación de los clinopiroxenos (termobarómetro de Putirka, 2008). Ver figura en color en la web.

Fig. 5. Depths of formation of the clinopyroxenes (Putirka, 2008 thermobarometer). See color figure in the web.

## Conclusiones

El volcán de Bienvenida, el más suroccidental de la región volcánica de Campos de Calatrava, está formado por melilitas olivínicas de 2,57 ± 0,38 Ma de edad. Se trata de rocas porfídicas con fenocristales

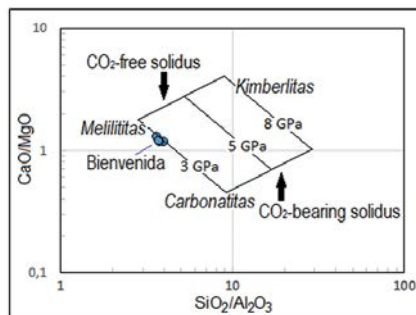


Fig. 6. Proyección de las rocas de Bienvenida en el diagrama SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO/MgO de Gudfinnsson y Presnall, (2005). Ver figura en color en la web.

Fig. 6. Bienvenida rocks in the diagram SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO / MgO of Gudfinnsson and Presnall, (2005). See color figure in the web.

de olivino rico en forsterita, formados a unos 1360°-1370°C y microfenocristales de diópsido ricos en el componente wollastonítico formados entre 1139°C y 1212°C, en una matriz con diópsido, melilita rica en akermanita y Na-melilita, nefelina, óxidos de Fe y Ti y perovskita.

Se trata de magmas primarios muy enriquecidos en LREE y elementos incompatibles, que se han formado en la base de la litosfera a 80-100 km de profundidad. Los piroxenos se formaron durante el ascenso, entre los 25 y los 45 km de profundidad, especialmente sobre los 30-35 km, en la base de la corteza.

## Agradecimientos

Para la realización del trabajo se ha contado con la ayuda de los proyectos: CGL2017-86241-R y PR41/17-20952. La composición química de los minerales ha sido determinada en la microsonda JEOL Superprobe JXA-8900M del Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la UCM. Los comentarios de los Drs. Ramón Casillas y Julio de la Nuez han contribuido a mejorar la calidad final de este artículo.

## Referencias

Ancochea, E., Giuliani, A. y Villa, I. (1979). *Estudios Geológicos* 35, 131-135.  
Ancochea, E. (1982). *Evolución espacial y tem-*

*poral del vulcanismo reciente de España Central*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 657 p.

- Brey, G. (1978). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 3, 61- 88.
- Carballo, A., Fernández, M., Jiménez-Munt, I., Torne, M., Vergés, J., Melchiorre, M., Pedreira, D., Afonso, J.C., García- Castellanos, D., Díaz, J., Villaseñor, A., Pulgar, J.A. y Quintana, C. (2015). *Tectonophysics* 663, 399-418.
- Cebriá, J.M. (1992). *Geoquímica de rocas basálticas y leucíticas de la región volcánica de Campo de Calatrava*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 260 p.
- Cebriá, J.M. y López Ruiz, J. (1995). *Lithos* 35, 27-46.
- Dunworth, E. y Wilson, M. (1998). *Journal of Petrology* 39, 1805-1836.
- Ehsan, S.A., Carbonell, R., Ayarza, P., Martí, D., Pérez-Estaún, A., Martínez-Poyatos D.J., Simancas, J.F., Azor, A. y Mansilla, L. (2014). *Tectonophysics* 621, 159-174.
- Gudfinnsson, G.H. y Presnall, D.C. (2005). *Journal of Petrology* 46, 1645-1659.
- Hamilton, D.L. (1961). *Journal of Geology* 69, 321-329.
- Helz, R.T. y Thornber C.R. (1987). *Bulletin of Volcanology* 49, 651-658.
- Hernández-Pacheco, F. (1932). *Memoria de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 235 p.
- Le Maitre, R.W. (1976). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 56, 181-189.
- Montierth, C., Johnston, A.D. y Cashman, K.V. (1995). En: *An empirical glass composition – based geothermometer for Mauna Loa lavas* (J.M. Rhodes y J.P. Lockwood, Eds.) American Geophysical Monograph 92, 207-217.
- Putirka, K. (2008). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 69(1), 61-120.
- Roeder, P.L. y Emslie, R.F. (1970). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 29, 275-289.
- Skala, R., Ulrych, J., Ackerman, L., Krmiceck, L., Ferry, F., Balogh, K. y Hegner, E. (2015). *Geologica Carpathica* 66, 197-216.
- Velde, D. y Yoder, H.S. (1977). *Carnegie Inst. Washington Year book* 76, 478-485.
- Wilson, M., Rosenbaum, J.M. y Dunworth, E.A. (1995). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 119, 181-196.