

# Estudio mineralógico, químico e isotópico preliminar de los sulfuros de Fe (Zn y Cu) silúricos de Latedo-Sejas de Aliste (Zamora)

S. M. Timón Sánchez (\*), M. C. Moro Benito (\*) y A. Fernández Fernández (\*)

(\*) Dpto. Geología, F. Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca.

## ABSTRACT

The Fe (Cu and Zn) sulfides of Latedo-Sejas are constituted of pyrite-pyrrhotite (sphalerite, chalcopyrite and arsenopyrite) and, on the basis of their textural and structural characteristics, three mineralogical stages have been differentiated: early *sin*-diagenetic (before phase 1), late *sin*-diagenetic (before or *sin*-phase 1) and *sin*-phase 3. The first mineralogical phase consists of *po* (py, sp, cp) and the other two of *py* (po, cp, sp) and *py±po* (cp, sp). The Co and Ni contents in pyrites or pyrrhotites as well as the Co/Ni ratio and the isotopic values, suggests that these sulfides have a sedimentary origin. Furthermore the formation *T* calculated using the arsenopyrite like a geothermometer is about 415°C.

**Key words:** pyrite, pyrrhotite, arsenopyrite, Silurian, sedimentary sulfides, Zamora.

Geogaceta, 19 (1996), 69-66  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En el curso de las investigaciones que se están llevando a cabo sobre las mineralizaciones de fosfatos asociadas a las series silúricas del NW de la Península Ibérica, se han reconocido y estudiado los sulfuros estratiformes de Fe (Zn y Cu) encajados en la serie silúrica de la provincia de Zamora, concretamente en la zona de Latedo-Sejas de Aliste. Estos sulfuros fueron identificados en los testigos continuos de los cinco sondeos mecánicos realizados de 1982 a 1985, dentro del Proyecto de Investigación «Samir de los Caños», por el Instituto Tecnológico y Geominero de España (I.T.G.E.), Promotora de Recursos Naturales (P.R.N.) y Billington Española S.A. (B.E.S.A.) en la zona (Fig 1). Todos ellos parecen corresponder a trazas de sulfuros masivos cuya localización, en todo su desarrollo, era el objetivo fundamental del mencionado proyecto. Por lo tanto, estas mineralizaciones de momento no tienen interés económico dado el escaso desarrollo que presentan sin embargo, su estudio es importante para el conocimiento global del potencial metalogénico de las series silúricas. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es describir de forma preliminar la composición mineralógica, química e isotópica de estos sulfuros así como, el de establecer el origen de los mismos.

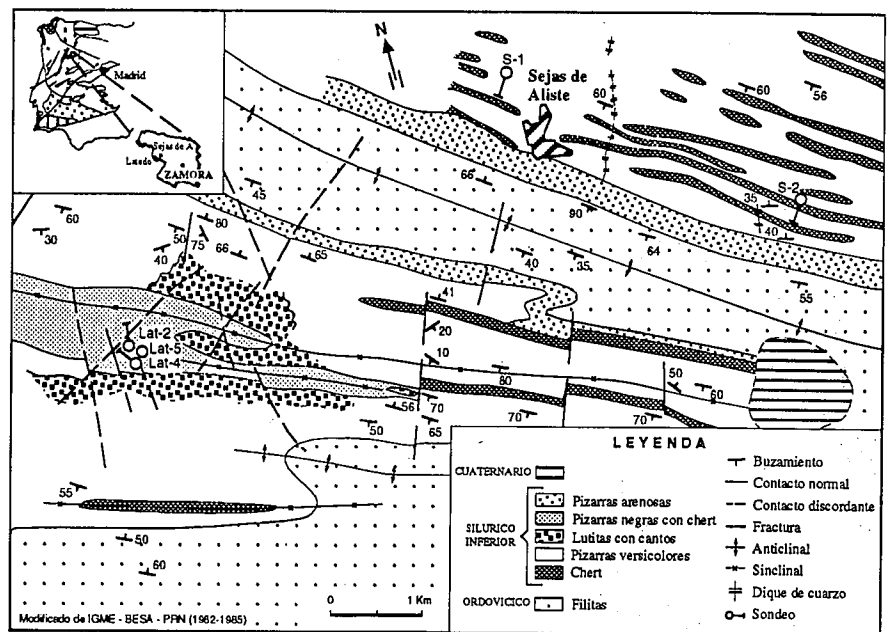


Fig.1. Esquema geológico de la zona de Latedo-Sejas de Aliste con la situación de los sondeos mecánicos.

Fig.1. Sketch map of the Latedo-Sejas de Aliste zone with the situation of the mechanical sounding.

## El Silúrico encajante

De las cinco columnas litoestratigráficas elaboradas a partir de los testigos continuos de los sondeos mecánicos realizados en Latedo y Sejas de Aliste respectivamente, la pertenecien-

te al sondeo de Latedo 5 refleja bastante bien las litologías a las que estas mineralizaciones están asociadas así como, las morfologías y zonaciones mineralógicas que presentan (Timón, 1995). La Serie Silúrica que contiene los sulfuros estudiados corresponde a

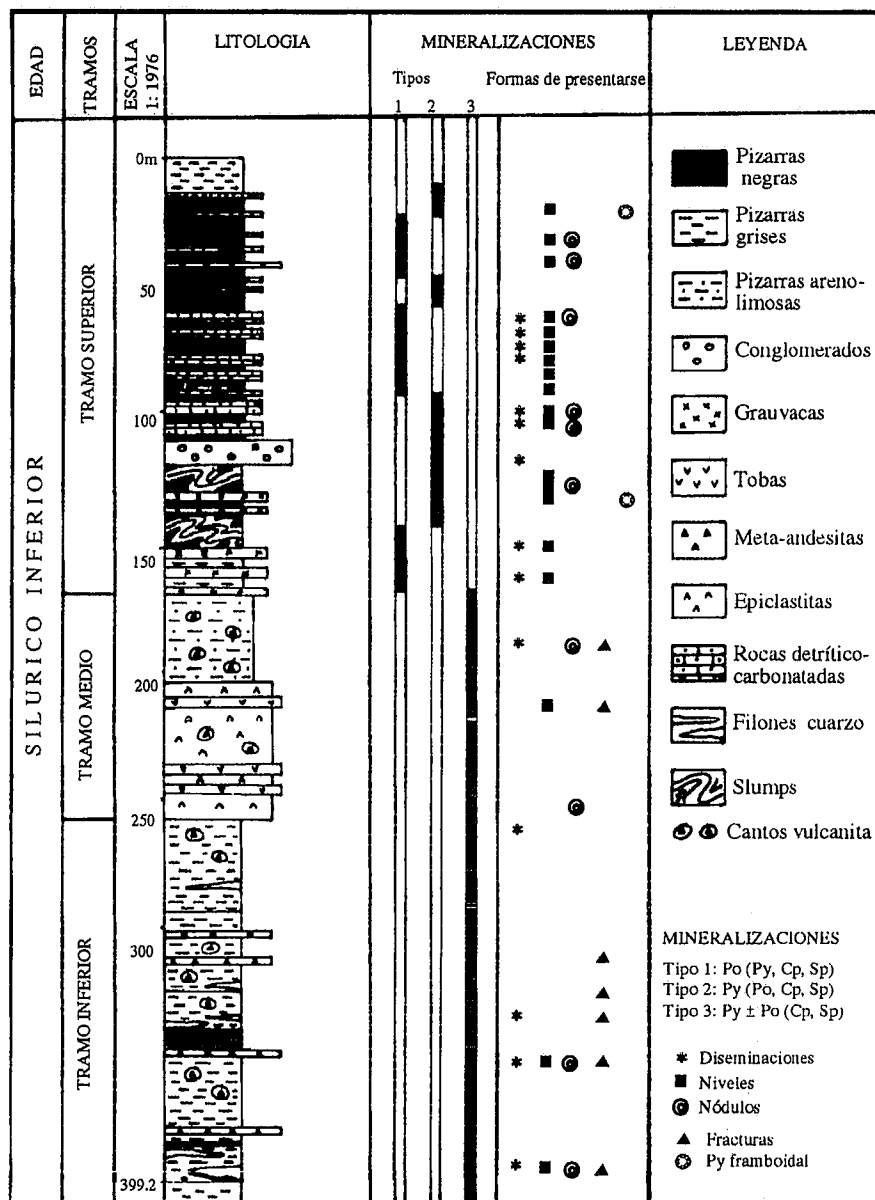


Fig.2. Columna litoestratigráfica del sondeo mecánico Latedo 5. En ella se diferencian los distintos tipos de la mineralización y las formas de presentarse.

Fig.2. Lithostratigraphic column of the Latedo 5 mechanical sounding. It can be recognized the different types of the mineralization and the way to present itself.

una alternancia de pizarras grafitosas, pizarras grises, calizas, pizarras arenolimosas, epiclastitas, tobas y meta-andesitas (Fig.2). Estas litologías presentan abundantes cambios laterales de facies y parecen corresponder a las formaciones del Silúrico Inferior definidas en la región por Martínez García (1973) y Quiroga (1981) y más concretamente, a la Formación San Vicente de la Cabeza establecida por Turrión (1988) en la zona de Palazuelo-San Vicente de la Cabeza. En general, son rocas de grano muy fino con estructura compacta y gran cantidad de materia orgánica. Todas ellas están afectadas, por lo menos por dos fases de deforma-

ción: la F1 que genera la orientación preferencial de los minerales y la F3 que produce la crenulación observada en la mayoría de estas rocas, sobre todo, en los niveles micáceos.

**Los sulfuros de Fe (Zn y Cu)**

Los sulfuros estudiados se presentan en lechos de potencia centimétrica interestratificados, fundamentalmente, en el tramo superior de la serie silúrica constituida por una alternancia de pizarras grafitosas y rocas carbonatadas. También aparecen asociados al resto de las litologías aunque de forma más accesoria (Fig 2). En esta mineralización

se han diferenciado, teniendo en cuenta sus características textoestructurales, tres fases mineralógicas: sindiagenética temprana (pre-F1), sindiagenética tardía (pre o sin fase F1) y sin-F3. Además, en función de la mineralogía predominante, como indican las zonaciones mineralógicas presentes en cada uno de los sondeos, se han establecido tres tipos de mineralización: Tipo 1 (py, cp, sp) asociado preferentemente a la fase mineralizada pre-F1, tipo 2 py (po, cp, sp) y tipo 3 py+po (cp, sp) asociados normalmente a las tres fases mineralizadas.

Mineralógicamente, la pirita es el sulfuro más abundante y se presenta en framboides diseminados en lechos paralelos a la S<sub>0</sub>, normalmente estirados y boudinados por la deformación y, en cristales idiomorfos según la dirección de crenulación (S<sub>3</sub>). Los framboides aislados tienen un tamaño medio de 15µm y formas esféricas casi perfectas que recrystalizan durante la diagénesis dando lugar a los cristales idiomorfos. Las texturas en atolón en las piritas también están presentes, las cuales se han originado por la recrystalización de los cristales periféricos de pirita alrededor de un framboide relleno de cuarzo (Fig 3). La pirrotina es después de la pirita el sulfuro de Fe más abundante. Se presenta en finos lechos que están normalmente rotos, estirados y crenulados. Este sulfuro constituye mayoritariamente la mineralización sindiagenética temprana donde aparece con tamaño de grano microscópico y asociada a la pirita framboidal y, a veces, sindiagenética tardía en la cual los sulfuros ya son visibles en muestra de mano y van acompañados de la recrystalización de la roca encajante. La calcopirita, la esfalerita y la arsenopirita sólo son visibles al microscopio y parecen estar asociadas a la mineralización sindiagenética temprana y/o tardía.

Las características químicas de estos sulfuros han sido determinadas mediante 65 análisis químicos realizados por la microsonda electrónica (CAMEBAX-SX 50). De ellos cabe destacar que la relación Co/Ni de las piritas analizadas es muy variable, de 0,002 a 3,58, siendo el valor medio 0,74 lo cual indica un origen sedimentario para ellas si bien, los valores superiores a 1, de acuerdo con Loftus Hills y Solomon (1967), podrían corresponder a pirita de un aporte hidrotermal. La relación Co/Ni en la pirrotina en ningún caso sobrepasa el 0,5 lo cual refleja, al igual que en las piritas, un origen sedimenta-

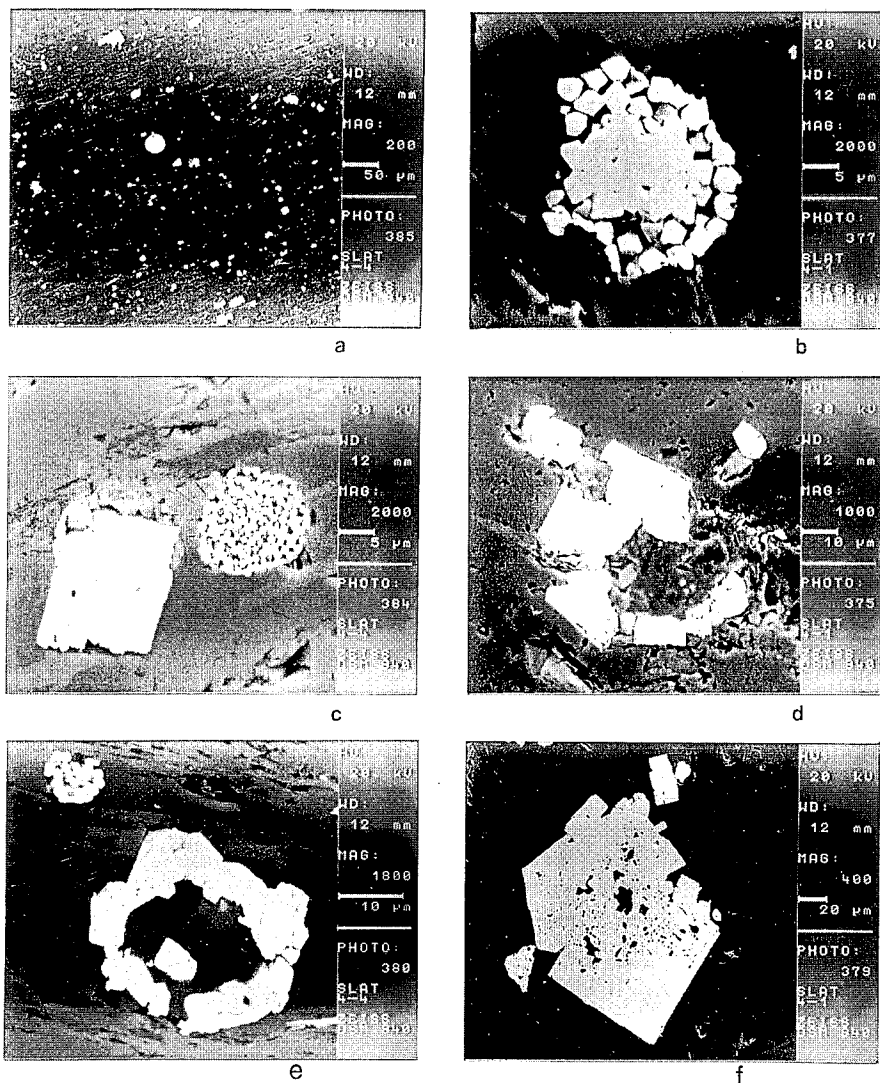


Fig.3. (a) Aspecto general de un lecho de pirita framboidal. (b) Framboide practicamente relleno por la adición de pirita. (c) Framboide junto a un cristal cúbico originado durante la recrystalización diagenética. (d) Textura en atolón. (e) Idem con un nucleo de pirita. (f) Cristal euhedral con inclusiones de la roca encajante.

Fig.3. (a) General aspect of a framboidal pyrite bed. (b) Addition of new pyrite to form a nearly infilled framboid. (c) Framboide close to a cubic crystal which comes from recrystalitation during the diagenesis. (d) An atoll structure. (e) Idem with a pyrite core. (f) Euhedral crystals with remnant structures of the host rock.

rio para este sulfuro (Fig 4).

Isotópicamente los valores de la  $\delta^{34}\text{S}$  de las piritas y pirrotinas analizadas presentan una gran dispersión, variando entre 5,79 y -15,26‰ (Tabla I). Estos valores implican que el S de estos sulfuros está enriquecido en  $^{32}\text{S}$  con respecto a los sulfatos marinos silúricos, lo que es en principio, característico de las piritas de origen sedimentario y formadas a partir del  $\text{H}_2\text{S}$  generado por la reducción bacteriana de los sulfatos marinos. En este proceso el  $\text{H}_2\text{S}$  se enriquece en  $^{32}\text{S}$  y, por lo tanto, los sulfuros que se originan a partir de él. Entre los sondeos de Sejas y los de La-

tedo existen ciertas diferencias entre los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  obtenidos siendo menos negativos en la zona de Latedo. Destaca también la tendencia hacia valores menos negativos de muro a techo en cada uno de los sondeos. Estos cambios en los valores de la  $\delta^{34}\text{S}$  pueden explicarse por diferencias en la fuente del S y por distintas condiciones de  $f\text{O}_2$ , pH y T. Probablemente, en la zona de Sejas existió mayor contaminación de los fluidos hidrotermales, un pH más ácido y una  $f\text{O}_2$  mayor que en Latedo debido a la tendencia de un empobrecimiento mayor en el isótopo pesado.

Y por último, la arsenopirita como

Sondeo	Muestra	Descripción	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)
SEJ 1	n° 1-10	Po lechos	-13.62
	n° 1-10'	Po lechos	-13.45
	n° 1-4	Po nódulos	-15.26
SEJ 2	n° 2-4	Py lechos	13.77
	n° 2-6	Py lechos	-10.91
LAT 2	n° 2-6	Py nódulos	4.01
	n° 2-9	Py remov.	-8.18
LAT 4	n° 4-2	Py nódulos	5.79
	n° 4-4	Py lechos	18.19
	n° 4-7	Po lechos	-3.69
	n° 4-6	Po lechos	-3.98
	n° 4-10	Po lechos	-3.71
LAT 5	n° 5-4	Py lechos	-1.80
	n° 5-6	Po nódulos	-3.13
	n° 5-17	Py lechos	6.18

Tabla I.  $\delta^{34}\text{S}$  de las py y po de Latedo y Sejas de Aliste.

Table I.  $\delta^{34}\text{S}$  of the Latedo and Sejas de Aliste sulphides.

geotermómetro. Este mineral se presenta en cristales esqueléticos asociado a la pirrotina sindiagenética tardía. La composición química de este mineral en equilibrio con la pirita y la pirrotina depende de la T de formación y por consiguiente ha sido calibrada de forma experimental para ser utilizada como geotermómetro (Kretschmer y Scott, 1976). Los contenidos en As de la arsenopirita analizada son muy homogéneos y varían de 31,5 a 32,2%, obteniéndose para un valor medio del 31,85%, en los diagramas de Scott (1976), una T de formación estimada en 415°C (Fig 5).

#### Consideraciones genéticas

Los sulfuros estudiados están constituidos mayoritariamente por sulfuro de Fe (pirita-pirrotina) y de forma accesoria por esfalerita, calcopirita y arsenopirita. En los niveles mineralizados la barita es un mineral accidental, en otros puntos silúricos del Sinforme constituye sus propias mineralizaciones que fueron explotadas durante un tiempo. La relación Co/Ni en las piritas y pirrotinas sugiere para ambos un origen sedimentario. Isotópicamente, las

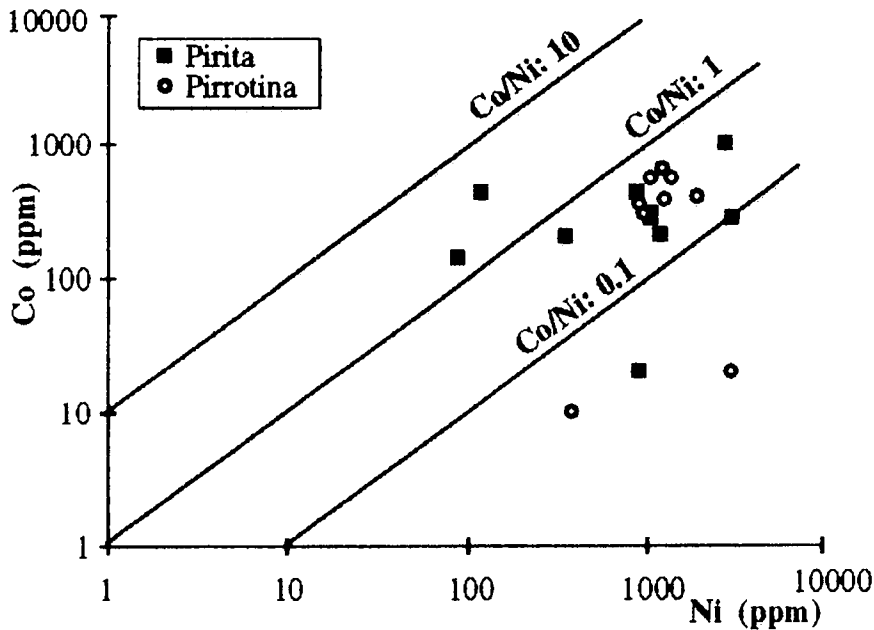


Fig.4. Relación Co/Ni en las pirritas y pirrotinas.

Fig.4. Co/Ni ratio in the pyrites and pyrrhothites.

pirritas y pirrotinas estudiadas presentan, en general, un empobrecimiento en el isótopo pesado sugiriendo para las mismas un origen sedimentario, originadas a partir del H<sub>2</sub>S generado por la reducción bacteriana del sulfato marino. El contenido en As de la arsenopirita utilizado como geotermómetro (Kretschmer y Scott, 1976) sugiere que la mineralización fue afectada por un metamorfismo regional de grado bajo, en la facies de los esquistos verdes, en el cual la T máxima alcanzada estaría en torno a los 415°C.

Todas las características expuestas sugieren que el proceso mineralizador fue de tipo sedimentario. Los sulfuros se habrían formado por precipitación química, en una cuenca sedimentaria caracterizada por episodios con escasos aportes terrígenos, importante acumulación de materia orgánica y ocasionalmente con cierta inestabilidad tectónica. Durante la diagénesis y/o el metamorfismo ligado a la primera deformación hercínica se produjo la recristalización de los sulfuros. Respecto

al origen del Fe, Zn y Cu se sugiere que fueron aportados a la cuenca por focos exhalativos hidrotermales, en base a las características y naturaleza de la serie y sobre todo, de acuerdo con Moro et al. (1994 y 1995), a la coexistencia de mineralizaciones de Ba, P y Mn, interpretadas por estos autores como de origen exhalativo sedimentario.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos de Investigación de la D.G.I.C.Y.T. nº PB 91-0563 y de la Comunidad Autónoma de Castilla y León SA 15/09/92. Los autores del mismo agradecen a D. Pedro Florido del Instituto Tecnológico y Geominero de Salamanca la autorización para el desmuestre y estudio de los sondeos.

**Referencias**

Barton, P. B. & Skinner, B. J. (1979). in: Barnes H. L. ed; *Geochemistry of*

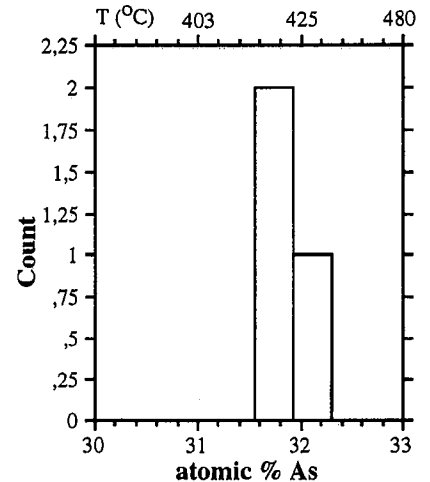


Fig.5. Histograma del contenido en As de la arsenopirita.

Fig.5. Histogram of As contents in arsenopyrite.

*hydrothermal ore deposits*: New York, Wiley-Interscience, 278-403.  
 Jonasson, J. R. & Sangster, D. F. (1978). *Geol. Surv. Can. Pap.*, 78-1B, 195-201.  
 Kretschmer U. & Scott S.D. (1976). *Can. Mineral*, 41, 364-386.  
 Loftus-Hills & Solomon (1967). *Mineral. Deposita*, 2, 228-242.  
 Martínez García (1973). *Stvd. Geol.*, 5, 7-106.  
 Moro, M. C.; Perez Del Villar, L. y Cembranos, M.L. (1994). in: Selmant, Kampf & Moller (eds), *Metallurgy of Collisional Orogens*. Czech Geological Survey, 376-382.  
 Moro, M. C.; Gil, M.; Cembranos, M.L.; Pérez del Villar, L.; Montero, J.M. y Fernández, A. (1995). *Bol. Geol. Min.*, vol 106-3.  
 Quiroga (1981). *Tesis doctoral*. Universidad de Oviedo. pp 210.  
 Sott, S. D. (1976). *Amer. Miner.*, 61, 661-670.  
 Timón, S.M. (1995). *Tesis de Licenciatura*. Univ. Salamanca.  
 Turrión, J. F. (1988). *Tesis de Licenciatura*. Univ. de Salamanca.