

## CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DEL ENTORNO GEOLOGICO DE LAS MINERALIZACIONES DE Fe AL SUR DE EL PEDROSO (SEVILLA)

A. Miras Ruiz \* y E. Pascual Martínez \*\*

\* Departamento de Geología. Universidad de Sevilla

\*\* Sección de Geología de La Rábida. Palos de la Frontera (Huelva)

**ABSTRACT.** — New data on the geological setting of the el Pedroso magnetite deposits (Southern Iberian Massif) are presented. Magnetite is found in a carbonate band which was skarn-transformed by the El Pedroso granitoid intrusion

The skarn is thought to be of lime type because of the typical association of Caminerals found.

From this study, the following geological characteristics can be deduced: a) all the metamorphic processes occurred on the magnetite deposit country rocks can be reasonably explained as a simultaneous process of contact metamorphism and deformation, b) metamorphism reached up high-grade conditions, locally producing anatexia of the country rocks, and c) Fe was concentrated from the El Pedroso granitoid, which is Fe-very rich (8-12 %), by the skarn process.

*Key words:* magnetite, skarn, Ossa-Morena zone, Seville, Spain.

**RESUMEN.** — Se presentan nuevos datos sobre el contexto geológico de las mineralizaciones de magnetita de El Pedroso (Macizo Ibérico Meridional). Estos depósitos de magnetita se encuentran asociados a una banda carbonatada que ha sido transformada en skarn por el macizo granitoide de El Pedroso.

El skarn ha podido ser definido como de tipo calizo de acuerdo con las asociaciones minerales presentes.

A partir de este estudio se han podido deducir las siguientes características geológicas: a) todo el metamorfismo del entorno de las mineralizaciones puede ser satisfactoriamente explicado como un metamorfismo de contacto simultáneo a una deformación, b) este metamorfismo alcanza condiciones de alto grado y produce anatexia de determinadas partes de los encajantes; y c) el Fe fue probablemente aportado por el granitoide de El Pedroso, muy rico en Fe (8-12 %), y concentrado por procesos de skarn.

### 1. Introducción

La presente nota tiene por objeto aportar nuevos datos mineralógicos y petrológicos sobre las rocas ígneas y metamórficas asociadas a las mineralizaciones de magnetita del área de El Pedroso (Sevilla), que fueron explotadas comercialmente de forma intermitente desde la segunda mitad del siglo XIX.

Paralelamente a los trabajos mineros, se han realizado con anterioridad varios estudios geológicos y/o mineralogenéticos, en

tre los que merecen citarse los de Macpherson (1879); Carvajal (1944); Simon (1951); Lotze (1961); Fabriés (1963); Vázquez y Amado Cueto (1969) y Vázquez y Fernández Pompa (1976).

Muchos de estos trabajos hacen alusión a la relación entre mineralizaciones y rocas ígneas intrusivas. En todo caso, se considera que existen entre ambas importantes relaciones, tal como ahora se observan, pero no se sabe con certeza si las rocas ígneas se limitan a removilizar concentraciones previamente existentes o por el contrario producen un verdadero metasomatismo. Caben también soluciones intermedias (Vázquez y Fernández Pompa, 1976).

En nuestra opinión, un mejor conocimiento del entorno geológico puede aportar, tal como a continuación se argumenta, nuevos elementos de juicio en la discusión, aún cuando la mineralización misma no haya sido objeto central de estudio.

## 2. Localización geográfica y geológica

Este estudio se ha realizado en la zona situada inmediatamente al SE. de la localidad de El Pedroso (Fig. 1).

Se encuentra situada en el sector Norte del dominio de Olivenza-Monesterio, considerado como subdominio por algunos autores (Chacón et al., 1983). Como pertenece al área más septentrional de este dominio, podría también clasificarse en el dominio Zafra-Monesterio definido por Arriola et al., (1981).

Aunque según todos los autores citados, este dominio presenta una sucesión precámbrica con cuarcitas negras (formación de Tentudía, Eguiluz y Quesada, 1980) y un extenso conjunto vulcanosedimentario bajo el cámbrico inferior calizo, el área estudiada presenta peculiaridades propias que la apartan de la descripción general, tal como se describe más adelante.

Fabriés (1963) sitúa este área en una de sus zonas metamórficas, señalando la dificultad de distinguir los fenómenos de metamorfismo regional de los de contacto, y añadiendo que la mayor parte de las facies

metamórficas en este sector tienen un carácter epizonal, aunque localmente puedan aparecer formaciones gneísicas y zonas de migmatización.

## 2. Contexto geológico de la mineralización

### 3.1. Rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas

Los materiales en los que se encuentra la mineralización forman parte de la aureola de contacto del borde NE. del macizo intrusivo de El Pedroso.

La sucesión litológica puede ser relacionada con las series regionales previamente establecidas (Fig. 2) aunque, debido a la importancia local de la tectónica de fractura, tal correlación ha de hacerse con reservas. Las transformaciones mineralógicas contribuyen también a oscurecer la composición original y a dificultar su comparación.

Los materiales encontrados en este área se han agrupado en:

a) «*Aureola interna*». Está constituida esencialmente por esquistos y cuarcitas que a veces han llegado a sufrir procesos de migmatización inducida. Las observaciones de campo permiten establecer que las migmatitas han sido inducidas por el macizo intrusivo, pues no existe una gradación metamórfica desarrollada y además, otro hecho de observación es que las texturas migmatíticas inducidas suelen perder nitidez cuanto más cerca están del contacto ígneo.

Este conjunto está formado generalmente por rocas cuarzo-fesdespáticas, con gruesos paquetes de cuarcitas oscuras en las que suelen encontrarse asomos de pórfidos granitoides. El metamorfismo de contacto que han alcanzado llega a ser de grado alto (facies de corneanas piroxénicas) con asociaciones típicas de Feldespato-andalucita/sillimanita o probable mullita y feldespato K-cordierita.

Estos materiales se han podido encontrar en zonas más alejadas del contacto, estando entonces constituidos por pizarras con lechos areniscosos y con intercalaciones potentes de cuarcitas oscuras, por lo que po-

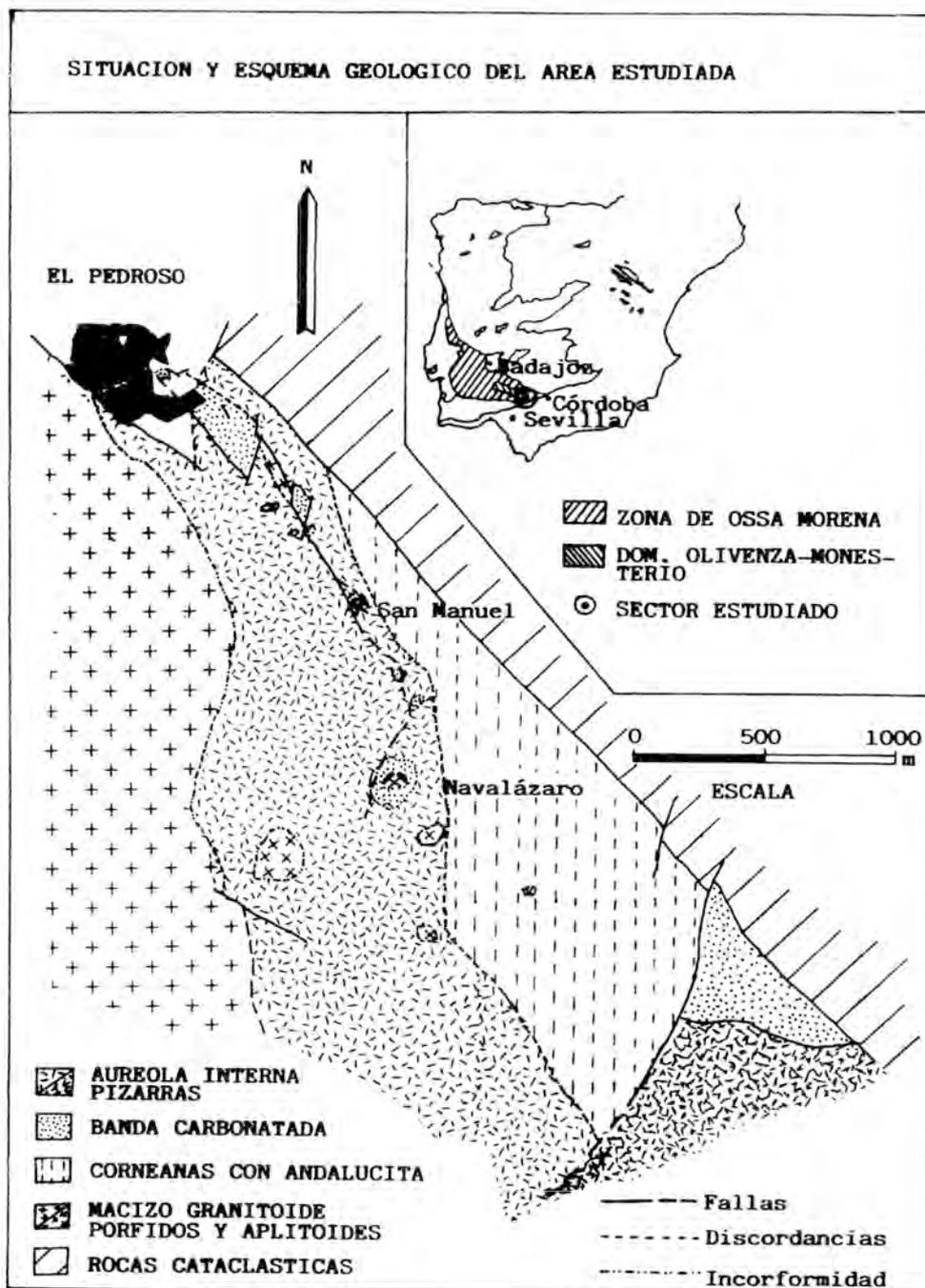


Figura 1. Situación y esquema geológico del área estudiada,



**Tabla I**  
Resultados de los análisis químicos  
realizados en granatitas de la mina  
Navalázaro

	Naval. 5	Naval. 8
SiO <sub>2</sub>	36.50	37.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.46	5.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.42	23.69
MgO	0.30	1.13
CaO	33.05	31.36
MnO	0.42	0.25
K <sub>2</sub> O	0.04	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.30
<b>Total</b>	<b>100.30</b>	<b>99.77</b>

C) «*Corneanas con andalucita*». Forman una banda de micasquistos moscovíticos generalmente con porfidoblastos de andalucita y cordierita.

Este tipo de roca ha sido favorable para realizar un estudio textural detallado al microscopio, decuciéndose las siguientes conclusiones:

- Existencia de una fase de deformación F<sub>1</sub> que da lugar a una esquistosidad S<sub>1</sub> con blastesis de moscovita + clorita (es muy dudosa la existencia de biotita en esta fase, debido a que se presenta generalmente con texturas de blastesis estática).
- Comienzo de otra etapa de deformación F<sub>2</sub> con producción de una esquistosidad S<sub>2</sub> de crenulación y con blastesis de andalucita (con S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> incipiente internas) + biotita.
- Continuación de la deformación F<sub>2</sub> que produce la rotación de los porfidoblastos anteriormente formados (Fig. 3).

Esta secuencia podría también producir la impresión de un metamorfismo regional con blastesis sincinemática de andalucita y una historia complicada, con dos foliaciones internas y otras dos externas.

La interpretación que se sostiene en este

trabajo, sin embargo, es contraria a esa apariencia. Pensamos que la blastesis metamórfica es fundamentalmente estática (salvo tal vez, la de grado bajo o muy bajo de clorita y mica blanca en S<sub>1</sub>, por las siguientes razones:

- Cristalización estática de biotita, cuarzo y feldespatos, la primera con típicas texturas lepidoblásticas desorientadas (Fig. 4) y el resto con texturas grano-blásticas en mosaico, con puntos triples a 120° característicos. Es de resaltar el hecho de que el melanosoma de muchas migmatitas presenta estos mismos caracteres (Fig. 5).
- Porfidoblastos de cordierita y andalucita desorientados y, lo que es más importante, con inclusiones desorientadas de biotita, cuarzo, etc. Este hecho es más notable en rocas de grado medio y alto de metamorfismo (Fig. 6) y no permite asignar a sus inclusiones un carácter sincinemático de S<sub>1</sub>.
- Zonación metamórfica cartográficamente relacionada con una intrusión granítica.

Por otra parte, las texturas aparentemente propias de metamorfismo regional pueden ser interpretadas en un contexto de metamorfismo de contacto, tal vez simultáneo a una deformación sin metamorfismo regional asociado.

La figura 3 por ejemplo, correspondiente a corneanas con metamorfismo de grado bajo a medio, muestra los siguientes hechos:

- Las foliaciones internas y externas a los porfidoblastos son las mismas. Es to es, sólo hay foliación S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, que afectan tanto a los esquistos como a los porfidoblastos, y su disposición actual se debe a rotación de estos últimos, asociada al desarrollo de la crenulación.
- En la foliación interna no se observan relictos metamórficos orientados.
- En la S<sub>1</sub> no hay más minerales metamórficos que la moscovita y la clorita, que en parte pueden ser incluso cristalizaciones miméticas posteriores a S<sub>1</sub>, a partir de moscovita y clorita anteriores, y anteriores a F<sub>2</sub>, como la andalucita lo es.

En consecuencia, el máximo grado de metamorfismo regional posible sería el de grado bajo en sentido de Winkler (1974), o menor, si las micas de  $S_1$  son estáticas, miméticas de otros filosilicatos anteriores.

Por otra parte las texturas rotacionales no son exclusivas del metamorfismo regional, sino que también pueden producirse cuando una aureola de contacto es deformada, y se ha demostrado previamente su existencia en el Macizo Ibérico español en relación a metamorfismo de contacto (Pascual 1984).

d) «Rocas intrusivas». Han sido estudiadas con anterioridad por Fabriés (1963), y en la síntesis regional elaborada más tarde (Bard et Fabriés, 1970) se describen como constituyentes de una serie continua, desde tonalitas bastante básicas con hornblenda y diópsido hasta granodioritas con fenocristales de microclina.

Esta variación composicional se relaciona con la presencia de rocas encajantes carbonatadas, si bien no se llega a mencionar de forma explícita la asimilación, ni tal suposición se refleja claramente en los datos químicos.

En el presente trabajo se distinguen los siguientes grupos de rocas intrusivas:

- «Macizo granitoide de El Pedroso», en el que predominan las rocas de composición tonalítica-granodiorítica.
- «Rocas porfídicas», están constituidas por cuarzdioritas, tonalitas y más raramente por cuarzonoritas. Poseen fenocristales de plagioclasa (a veces zonados desde An 30 hasta An 55) que frecuentemente están orientados e incluso deformados, formando un entramado en cuyos intersticios puede hallarse anfibol y/o piroxeno, biotita, cuarzo y a veces epidota, feldespato potásico, etc. (como accesorios apatito, mena, zircón, titanita, etc).

Forman enclaves de dimensiones métricas a decamétricas y se originaron probablemente a partir de irregularidades composicionales en el Macizo granitoide de El Pedroso.

- «Diques aplitoideos», constituyen pequeños cuerpos de anchura métrica que cortan tanto a las rocas de la aureola interna como

a la banda carbonatada e incluso a las corneanas. Su textura puede variar desde porfídica a microgranuda, y en su composición destaca la presencia, a veces muy abundante, de feldespato potásico y moscovita.

### 3.2. Mineralizaciones

Las mineralizaciones de magnetita se encuentran generalmente formando bolsas, capas o cuerpos irregulares junto con otros materiales calcosilicatados de la «Banda Carbonatada», precisamente donde ésta ha sufrido un metamorfismo de contacto de alto grado (zonas más cercanas al contacto intrusivo).

Existen dos explotaciones importantes en la zona: San Manuel y Navalázaro (Figs. 7 y 8).

En San Manuel la banda carbonatada tiene un espesor de unos 20 m. y es predominantemente caliza. Se presenta limitada por contacto mecánicos (N 160°/40° E).

La mineralización se concentra en dos núcleos, al Norte y al Sur del afloramiento, separados por rocas calcosilicatadas (granitas, piroxenitas, epidotias, etc). Las paragénesis más interesantes desde el punto de vista físico-químico observadas en estas rocas se pueden agrupar en: Gn-Ep; Gn-Ep-Px; Cz-Px-Plg.

El estudio con luz reflejada pone de manifiesto que está constituida por una masa de cristales generalmente idiomorfos de magnetita con algo de esfalerita y pirita accesoria. A veces el conjunto está alto tectonizado y puede haber hematites y óxidos de Ti como productos de alteración.

En Navalázaro, la banda carbonatada es más amplia (unos 80 m. de potencia y 200 de corrida) y sus límites no se observan por estar ocultos bajo las escombreras. La explotación a cielo abierto puso de manifiesto la gran irregularidad de este yacimiento.

La mineralización se presenta como una banda irregular al Norte, y como una serie de masas lenticulares separadas por rocas calcosilicatadas, al Sur. Se observan multitud de diques aplíticos y porfídicos (hasta un 20 % del conjunto de la explotación) que cortan la mineralización, produciendo en

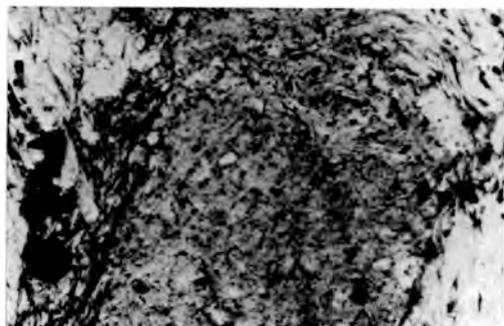


Figura 3. Porfidoblasto de andalucita rotado, en el que se observa como penetra en él la esquistosidad externa. Pol // 4x.

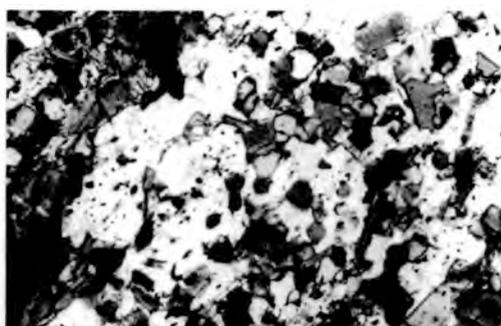


Figura 6. Porfidoblasto de cordierita sin deformación y con abundantes inclusiones desorientadas. Pol X 4x.

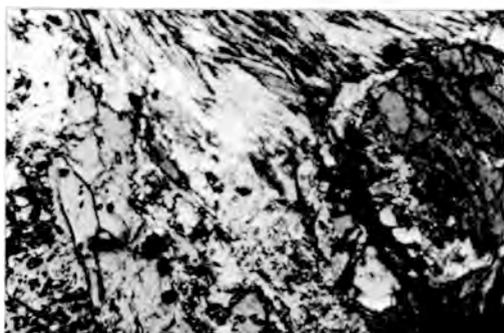


Figura 4. Andalucita idiomorfa y cordierita con inclusiones desorientadas, sin deformación. Biotitas con texturas lepidoblásticas desorientadas (en mosaico). Pol X 4x.



Figura 7. Aspecto general de la mina San Manuel.

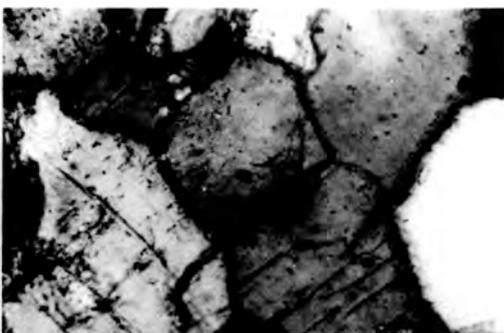


Figura 5. Roca cuarzo-feldespática de la «aureola interna» presentando textura granoblástica con puntos triples. Pol X 20x.



Figura 8. Vista de la explotación a cielo abierto de Navalázaro.

ésta un aumento en el contenido en fósforo (Doetsch, 1967).

Las paragénesis en estas rocas se pueden resumir en : Ep-Gn-Px; Px-Esc-Gn-Ep; Px-Esc-Plg-Gn; Plg-Px-Ep; Px-Ep; Px-Plg.

Es de resaltar la ausencia de carbonatos en este yacimiento, debido probablemente a su total reacción para dar lugar a otras rocas calcosilicatadas.

La mineralización está constituida por magnetita, generalmente martitizada con textura granoblástica desorientada, con algo de marcasita intersticial. También suele encontrarse hematites y goethita de alteración.

#### 4. Consideraciones sobre la mineralogénesis de estos depósitos

La distribución espacial de las concentraciones de Fe en relación con el contacto entre cuerpos intrusivos (granitoides) y materiales carbonatados y calcosilicatados (skarn) no es casual. Las mineralizaciones muy probablemente se formaron por concentración de hierro en condiciones de metasomatismo de contacto.

El hierro parece más bien aportado por la roca ígnea. Sería muy difícil explicar su procedencia a partir de los materiales carbonatados que prácticamente carecen de hierro fuera de la zona de contacto. Por el contrario los granitoides en esta zona pueden contener hasta un 12 % de Fe total (Bard et Fabriés, 1970).

Durante los procesos metasomáticos, el hierro se moviliza y difunde a través de la zona de contacto, procedente de las partes más externas de las rocas intrusivas, a temperaturas entre 400-500 °C (Px-Ep; Px-Gn-Ep; Zharicov 1970), bajo un régimen de alcalinidad normal (Px-Plg; Px-Esc-Plg-Gn; Zharicov 1970), concentrándose en bolsadas y cuerpos irregulares durante la etapa de deformación  $F_2$  simultánea al proceso metasomático.

#### 5. Conclusiones

A partir de los datos petrológicos expuestos y de las consideraciones sobre la

mineralogénesis de los depósitos, se puede establecer:

1) La sucesión litológica en el sector estudiado parece mostrar materiales detríticos y carbonatados del Cámbrico inferior, con contactos mecánicos entre ambos. Esta sucesión difiere de la establecida por otros autores para los materiales del dominio en que se encuentra (Zafra-Monesterio).

2) Los materiales estudiados están afectados por un metamorfismo de contacto que ha llegado a producir migmatización inducida por el macizo granitoide de El Pedroso, alcanzando condiciones de corneanas piroxénicas, con presiones de confinamiento inferiores a 2.5 Kb.

3) Las texturas aparentemente de metamorfismo regional pueden ser satisfactoriamente explicadas mediante un proceso de metamorfismo de contacto simultáneo, tal vez, a una deformación sin metamorfismo regional asociado.

4) Las mineralizaciones de magnetita parecen haberse generado en un proceso de skarn de tipo calizo (calcita, andradita, hedenbergita-johannsenita, wollastonita, escapolita cálcica, anfíboles cálcicos, epidota, cuarzo, magnetita, etc).

5) El abundante desarrollo de granititas y el alto contenido en hierro de todos los minerales del skarn, son proporcionales al tiempo de avance del proceso (Zharicov, 1970).

6) El Fe fue probablemente movilizado por difusión desde la roca ígnea y concentrado posteriormente a 400-500 °C y a presiones relativamente bajas (and o mull), y en régimen de alcalinidad normal, por metasomatismo de contacto simultáneo a una deformación.

#### 7. Agradecimientos

Mostramos nuestra gratitud a Dña. M<sup>a</sup> Angeles Guerrero por su colaboración en la realización de los análisis químicos, a la Dra. Purificación Fenoll por sus valiosas sugerencias y por su constante apoyo en la elaboración de este trabajo. Asimismo, queremos agradecer al Dr. Emilio Galán la revisión y crítica constructiva de este escrito.

## 8. Bibliografía

- Arriola, A.; Eguiluz, L.; Fernández-Carrasco, J. y Garrote, A. (1981). *Individualización de diferentes dominios y unidades en el anticlinorio de Olivenza-Monesterio*. III Reunión G.O.M.
- Bard, J. P. et Fabries, J. (1970). *Aperçu pétrographique et structural sur les granitoïdes de la Sierra Morena Occidentale (Espagne)*. Bol. Geol. y Min. T. 81, 2, 112-127.
- Carvajal, E. (1944). *Estudio de los criaderos de hierro de la provincia de Sevilla*. Mem. IGME. T. 4, v. 46.
- Chacon, J.; Oliveira, V.; Riveiro, A. y Oliveira, J. T. (1983). *Estructura de la Zona de Ossa-Morena*. Libro Jubilar J. M. Rios. Geología de España. T. 1. IGME. 490-504.
- Eguiluz, E. y Quesada, C. (1980). *La sucesión precámbrica de la transversal de Monesterio (Badajoz)*. Nota preliminar. I Reunión G.O.M.
- Fabries, J. (1963). *Les formations cristallines et métamorphiques du Nord Est de la province de Seville (Espagne)*. Theses Doctorales. Fac. des Sciences de l'Université de Nancy.
- Korzhinskii, D. S. (1968). *The theory of Metasomatic Zoning*. Mineral. Depos., 3, 222-231.
- Lotze, F. (1961). *Zur Stratigraphie des spanischen kambriums*. Geologie, 7, 3-6, 727-750.
- Macpherson, J. (1879). *Estudio geológico y petrográfico del Norte de la provincia de Sevilla*. Bol. Com. Mapa Geol. España, 6, 97-268.
- Miyashiro, A. (1973). *Metamorphism and Metamorphic Belt*. Allen Unwin, London, 492 p.
- Pascual, E. (1984). *El batolito de los Pedroses en el sector Hinojosa del Duque-Santa Eufemia. Caracteres petrográficos y relaciones con las deformaciones hercínicas*. Memórias e Noticias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, n.º 97, 39-50.
- Simon, W. (1951). *Untersuchungen im Paläozoikum von Sevilla (Sierra Morena, Spanien)*. Abh. Senckenberg. Naturf. Ges., 485, 31-52.
- Vázquez Guzmán, F. y Amado Cueto, L. (1969). *Génesis de los yacimientos de hierro de la sierra de El Pedroso y El Travieso*. Bol. Geol. y Min. T. LXXX-I, 50-61.
- Vázquez Guzmán, F. y Fernández Pompa, F. (1976). *Contribución al conocimiento geológico del Suroeste de España*. T. 89. Memorias del IGME.
- Winkler, H.G.F. (1974). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 4ª Ed., Springer, Berlín, 334p.
- Zharicov, V. A. (1970 b). *Skarns (Part II)*. Internat. Geol. Review, 12, 619-647.