

# Origen de las piritas de la cuenca de Cameros, (La Rioja)

*Origin of the pyrites of the Cameros basin, (La Rioja) Spain*

J. Alonso-Azcárate, (\*) M. Rodas, (\*) R. Mas (\*\*) y F. Velasco (\*\*\*)

(\*) Dto. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid

(\*\*) Dto. Estratigrafía. Instituto de Geología Económica C.S.I.C. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid

(\*\*\*) Dto. Cristalografía y Mineralogía. Universidad del País Vasco. 48080 Bilbao

## ABSTRACT

*The pyrite mineralizations of the Cameros basin has been traditionally interpreted as diagenetic. On the basis of trace element content, S isotopes study, pyrite inclusions and geologic observations, the pyrite crystals seem to be associated to a mobilization process of previous sedimentary pyrites during the hydrothermal metamorphism that affected the basin.*

**Key words:** *pyrite, mobilization, hydrothermal metamorphism.*

*Geogaceta, 18 (1995), 180-183*  
*ISSN: 0213683X*

## Introducción

Los ejemplares de pirita procedentes de la cuenca cretácica de Cameros son conocidos a nivel mundial, especialmente por los museos y coleccionistas, tanto por su tamaño como por la perfección y calidad de los cristales. Los hallazgos más importantes se localizan en el sector oriental de la cuenca (Fig.1), generalmente en materiales lutíticos del Cretácico inferior afectados por un metamorfismo de grado bajo. Tradicionalmente estos yacimientos han sido considerados como de origen diagenético (Font-Altaba, 1963; Durantez *et al.*, 1982) aunque según estudios recientes (Alonso-Azcárate *et al.*, 1994) es posible relacionar su génesis con el metamorfismo hidrotermal que afectó estos sedimentos cretácicos.

La cuenca de Cameros, como otras importantes cuencas del Rifting Ibérico, tuvo su desarrollo principal durante el Jurásico terminal-Cretácico inferior (Mas *et al.*, 1993). Está situada en la parte más septentrional de las Cadenas Ibéricas (fig. 1) y presenta unas características particulares que la diferencian de las demás cuencas de la cadena. Se caracteriza por presentar una elevada velocidad de subsidencia y una fuerte tasa de sedimentación, destacando de manera particular que es la única cuenca de la cadena Ibérica en la que parte de sus materiales están afectados por metamorfismo.

Desde el punto de vista estratigráfico,

la megasecuencia de relleno de la cuenca de Cameros ha sido subdividida en seis secuencias deposicionales (SD.1 a SD.6 de base a techo; Mas *et al.*, 1993) (Fig.2), constituidas fundamentalmente por sedimentos continentales en facies fluviales y lacustres, con esporádicas incursiones marinas.

## Resultados

La aparición de abundantes cristales centimétricos e incluso decimétricos de pirita en la cuenca de Cameros no parece ligada a una formación sedimentaria concreta. Aunque se encuentran asociadas a todas las formaciones de la cuenca, es en las secuencias deposicionales S.D.4 y parte inferior de la S.D. 5, donde son más frecuentes, los cristales son de mejor calidad y pueden ser explotados con cierto beneficio económico. Los principales afloramientos están localizados principalmente en materiales pelíticos en contacto con niveles de arenisca. No obstante y de manera esporádica, aparecen también en areniscas, calizas y margas. De las mineralizaciones conocidas en esta cuenca se han seleccionado para este estudio las siete más representativas (Fig.2), todas ellas concentradas en las secuencias deposicionales SD.4 y SD.5.

La morfología que presentan los cristales de pirita es variada según los diferentes yacimientos. En Ambasaguas y A. Canadillas presentan morfologías características de alta sobresaturación

(piritoedros, crecimientos en "split-growth" y agregados de cristales), y el resto de los yacimientos tienen morfologías típicas de baja sobresaturación (cubos y cristales aplanados y alargados).

A pesar del aspecto limpio en superficie que muestran estos cristales, es muy frecuente la presencia de otras inclusiones, principalmente de filosilicatos (illita y clorita) y cristales tabulares de cloritoide (Alonso-Azcárate *et al.*, 1994); ocasionalmente aparecen inclusiones de calcopirita, esfalerita y óxidos de hierro.

Los análisis químicos mediante Plasma-ICP señalan contenidos en elementos traza en general bajos, presentando unos valores medios de Co y Ni de 189 ppm y 610 ppm respectivamente, y una relación media Co/Ni próxima a 0.31.

Por otra parte, los datos de isótopos de azufre (n= 20), presentan una amplia dispersión, con un  $\delta^{34}\text{S}$  oscilando entre +11.2‰ y -7‰. No obstante, dentro de cada yacimiento la dispersión de valores es muy pequeña.

El metamorfismo de la cuenca fue considerado como dinamo-térmico y sincrónico con la formación de la cuenca (Guiraud y Seguret, 1985). Recientemente este metamorfismo ha sido estudiado por Casquet *et al.*, (1992), Barrenechea (1994) y Barrenechea *et al.*, (in press) a partir de datos de inclusiones fluidas, dataciones radiométricas, asociaciones minerales presentes y la de-

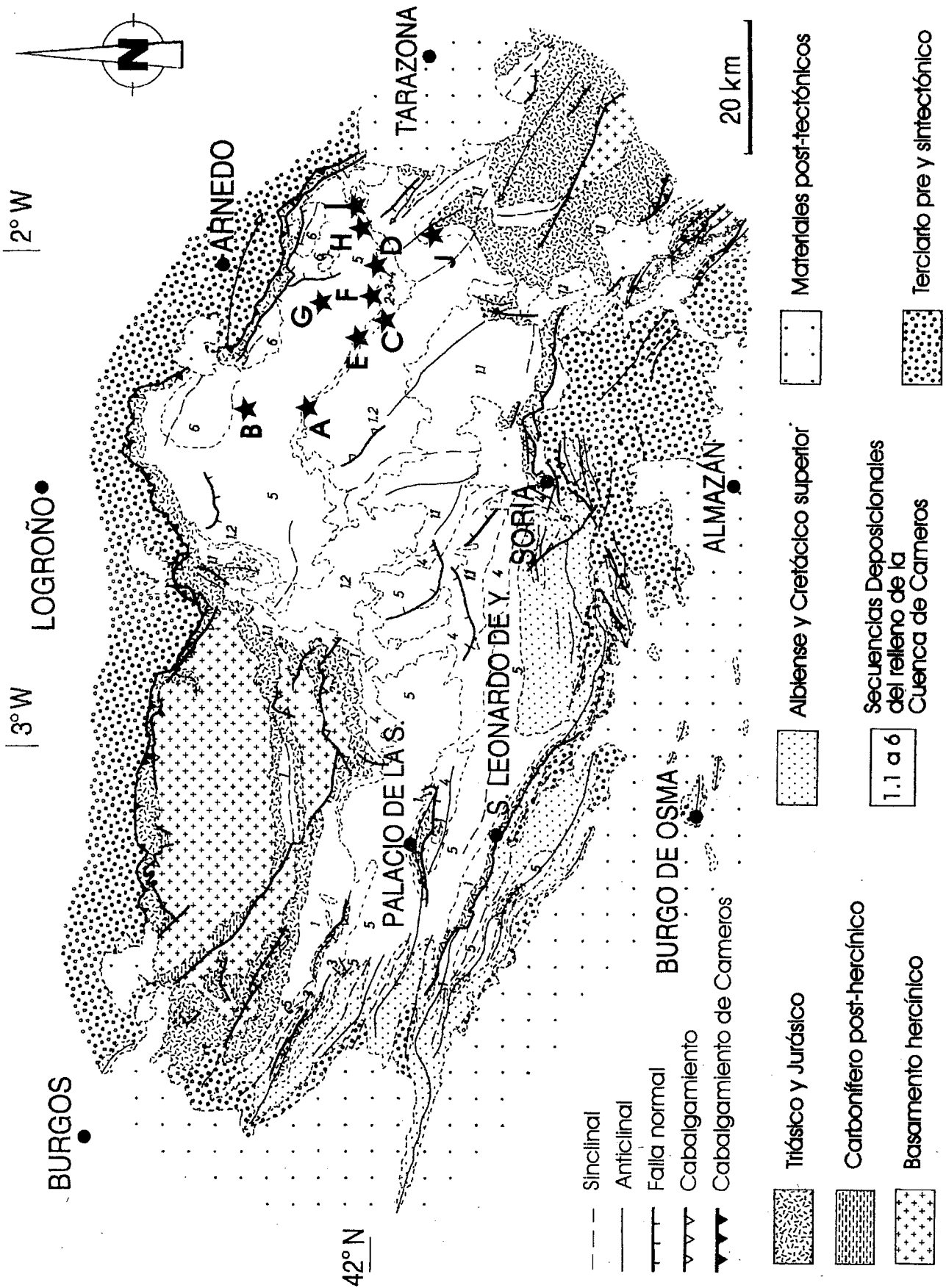


Fig. 1.- Mapa geológico de la cuenca y localización de los diferentes yacimientos de pirita. A: Yanguas, B: Munnilla, C: Valdenegrillos, D: Navajún, E: Villarjío, F: Valdeperillos, G: Ambasaguas-A. Canadillas, H: Matamala, I: Las Casas, J: San Felices (Modificado de Guimerá *et al.*, in press)

Fig. 1.- Geological map of the basin and localization of the different pyrite mineralizations. A: Yanguas, B: Munnilla, C: Valdenegrillos, D: Navajún, E: Villarjío, F: Valdeperillos, G: Ambasaguas-A. Canadillas, H: Matamala, I: Las Casas, J: San Felices (Modified from Guimerá *et al.*, in press)

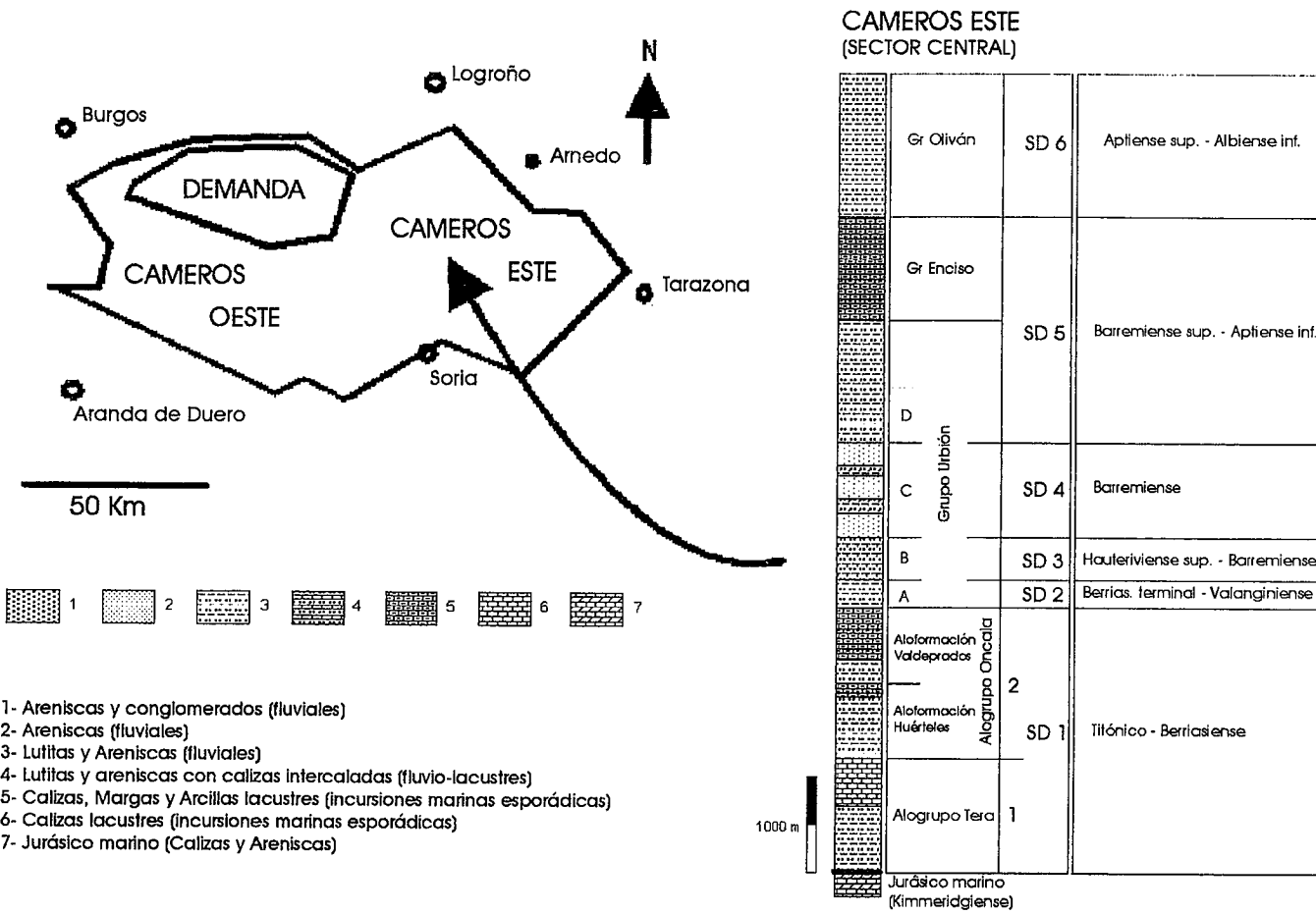


Fig. 2.- Estratigrafía de la Cuenca de los Cameros en el Sector Oriental. SD: Secuencia deposicional Modificado de Mas *et al.*, 1993)

Fig. 2.- Stratigraphy of the Cameros basin in the Eastern Sector. SD: Depositional sequence (Modified from Mas *et al.*, 1993)

LOCALIZACIÓN	S.D.	ROCA CAJA	NODULOS	MINERALOGÍA DE ARCILLAS					INCLUSIONES			IC(20)	CC(20)	
				ILL	CLO	REC	PA	MO/PA	CLT	ILL	CLO	CLT	MEDIO	MEDIO
YANGUAS	2	Areniscas								•	•		0.34	0.19
NAVAJUN	4	Lutitas	•	•	•	•	•	•	•				0.5	0.15
VALDENEGRILLOS	4	Lutitas	•	•	•			•	•				0.38	
VILLARIJO	4	Lutitas	•	•	•			•	•				0.35	0.17
VALDEPERILLOS	4	Lutitas	•	•	•			•	•				0.33	0.22
AMBASAGUAS	5(BASE)	Lutitas		•	•	•	•	•	•	•	•		0.52	0.22
A. CANADILLAS	5(BASE)	Lutitas		•	•	•	•	•	•	•	•		0.52	0.22

Tabla 1.- Características de los diferentes yacimientos de pirita estudiados. S.D.: Secuencia deposicional, Ill: illita, Clo: clorita, Rec: rectorita, Pa: paragonita, Mo/Pa: interestratificado moscovita-paragonita, Clt: cloritoide, IC: índice de cristalinidad de la illita, CC: índice de cristalinidad de la clorita.

Table 1.- Features of the different pyrite deposits studied. S.D: Depositional sequence, Ill: illite, Clo: chlorite, Rec: rectorite, Pa: paragonite, Mo/Pa: mixed-layer muscovite- paragonite, Clt: chloritoid, IC: illite crystallinity index, CC: chlorite crystallinity index.

terminación de parámetros cristalocinéticos en filosilicatos. Por el contrario, estos autores consideran para el metamorfismo un origen hidrotermal, asignándole una edad entre 108 a 86 Ma., claramente posterior al desarrollo de la cuenca (post-rift).

A partir de los estudios de mineralogía

de arcillas del encajante (asociaciones minerales y "cristalinidad" de la illita y clorita) (tabla 1), se ha deducido el grado metamórfico alcanzado por estos materiales. En definitiva se observa una evolución desde condiciones típicas de anquizona (Ambasaguas y A. Canadillas) hasta condiciones de epimetamorfismo (Yanguas y Valdeperillos).

**Discusión y conclusiones**

Si bien los bajos contenidos en elementos traza y las relaciones Co/Ni <1 para estos sulfuros apuntan hacia un origen sedimentario (Loftus-Hills y Solomon, 1967; Bralía *et al.*, 1979; Bajwah *et al.*, 1987), la presencia de inclu-

siones automorfas de cloritoide indican claramente que la formación de los cristales de pirita se han desarrollado durante y/o después de la principal fase hidrotermal coetánea con el metamorfismo.

En el mismo sentido parecen apuntar los datos de isótopos de azufre. Estos indican un origen sedimentario para el azufre, que se habría generado a partir de la reducción bacteriana de sulfatos, mientras que los valores más pesados podrían ser interpretados como resultado de reducción inorgánica de sulfatos por Fe<sup>2+</sup> en ambientes de metamorfismo hidrotermal a temperaturas de aproximadamente 300°C. El bajo grado de fraccionamiento isotópico observado podría relacionarse, tal como han sugerido Goldhaber y Kaplan (1975) y Raiswell (1982), con las altas tasas de sedimentación de la cuenca, que se correlacionan con bajos fraccionamientos isotópicos. Sin embargo, la localización de los yacimientos de pirita en las zonas afectadas por el metamorfismo, así como la presencia de inclusiones de cristales tabulares de cloritoide, exige la elaboración de un modelo de génesis complejo para estas piritas, capaz de integrar los datos disponibles.

Este modelo incluiría los siguientes estadios:

1.- Sedimentación detrítica en medios fluviales y lacustres, con presencia de abundante materia orgánica de origen vegetal.

2.- Con el inicio de la compactación y la diagénesis temprana de estos materiales (en presencia de óxidos e hidróxidos de hierro), se formaría pirita sedimentaria y concreciones carbonatadas de tamaño milimétrico a centimétrico.

3.- En la etapa de enterramiento profundo, coincidiendo con el desarrollo del metamorfismo hidrotermal, caracterizado en este área por la aparición de cloritoide, los fluidos movilizaron y reprecipitaron los sulfuros existentes, dando lugar a los citados cristales de pirita. Las piritas han cristalizado en ocasiones junto con las citadas concreciones de carbonatos, previamente transformadas a clorita, y también con cristales de cloritoide durante el metamorfismo. Estas observaciones permiten asignar a las piritas un origen sin o postmetamórfico.

Tanto la ubicación y distribución de las concentraciones de pirita en zonas de interfase entre tramos permeables (areniscas) e impermeables (lutíticos), como las características morfológicas de los cristales (tamaño, hábito y perfección), fueron en gran parte condicionadas por parámetros físico-químicos locales y muy principalmente por la sobresaturación, pH y disponibilidad de fluidos metamórficos.

#### Referencias

Alonso-Azcárate, J.; López-Andrés, S.; Fernández-Díaz, L.; Rodas, M. (1994). 16th IMA General Meeting. p.8

- Bajwah, Z.U.; Seccombe, P.K.; Offler, R. (1987). *Mineral. Deposita* 22, 292-300.
- Barrenechea J.F. (1994). *Tesis Doctoral*. Inedita. 297 p.
- Barrenechea, J.F.; Rodas, M.; Mas, J.R. (in press.). *Clay Min.*
- Bralia, A.; Sabatini, G.; Troja, F. (1979). *Mineral. Deposita* (Berl) 14, 353-374.
- Casquet, C.; Galindo, C.; González Casado, J. M.; Alonso, A.; Mas, R.; Rodas, M.; García, E.; Barrenechea, J. F. (1992): *Geogaceta*, 11, 22-25.
- Durantez, O.; Solé, J.; Castiella, J.; Villalobos, L. (1982): *Hoja geológica núm. 281. Cervera del Río Alhama. Mapa geológico de España a e.1:50.000. Serie MAGNA. I.G.M.E.*
- Font-Altava, M. (1963). *Miner. Soc. Am. Spec. Paper*. N°1, 186-189.
- Goldhaber, M.B.; Kaplan, I.R. (1974). En: E.D. Goldberg (Editor), *The Sea*. Vol. 5. Wiley, New York, N.Y., pp.569-655.
- Guimerá, J.; Alonso, A.; Mas, J. R. (in press):. *Jour. Geol. Soc.* London.
- Guiraud, M.; Seguret, M. (1985). *SEPM Special Publ.*, 37, 159-175.
- Loftus-Hills, G.; Solomon, M. (1967). *Mineral. Deposita* 2, 228-242.
- Mas, J. R.; Alonso, A.; Guimerá, J. (1993). *Rev. Soc. Geol. España*, 6 (3-4), 129-144.
- Raiswell, R. (1982). *American Journal of Science* Vol. 282, 1244-1263.

#### Preguntas

**Pregunta (R. Castroviejo):** ¿ Por qué metamorfismo hidrotermal?¿Podría justificarlo?

**Respuesta:** La caracterización de metamorfismo ha sido realizada anteriormente (Casquet et al. 1992, Barrenechea 1994 y Barrenechea et al. in press) a partir de las asociaciones minerales presentes, determinación de parámetros cristaloquímicos en filosilicatos e inclusiones fluidas. Además, el metamorfismo ha sido datado por K-Ar, como de edad Cretácico superior, claramente posterior a la etapa de rifting y relleno de la cuenca. Algunos de estos autores y nosotros mismos han podido comprobar que el grado de metamorfismo que aparece a lo largo de distintas sucesiones, está fuertemente controlado por la presencia de facies que permitirían la circulación de carácter hidrotermal

**Pregunta (J. Samper):** ¿No se han producido alteraciones de tipo hidrotermal?

**Respuesta:** Se ha producido decoloración de las zonas mineralizadas en los yacimientos donde se ha encontrado mayor concentración de pirita. Esta decoloración refleja la variación en los filosilicatos del encajante, principalmente ligada a la destrucción de la clorita.