

# Características petrográficas y mineralógicas de birbiritas derivadas de las peridotitas de Ronda (Cordilleras Béticas)

*Petrographical and mineralogical characteristics of birbirites from the Ronda peridotites (Betic Cordilleras)*

José Julián Esteban<sup>(1)</sup>, Julia Cuevas<sup>(1)</sup>, José M. Tubía<sup>(1)</sup>, Francisco Velasco<sup>(2)</sup> y Néstor Vegas<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología Universidad del País Vasco, ap. 644. 48080 Bilbao, Spain. jj.esteban@ehu.es, julia.cuevas@ehu.es, jm.tubia@ehu.es, nestor.vegas@ehu.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología Universidad del País Vasco, ap. 644. 48080 Bilbao, Spain, francisco.velasco@ehu.es

## ABSTRACT

In this work we describe, by first time in the Betic Cordilleras, the occurrence and the main petrological and mineralogical features of birbirites, as result of intense metasomatism of serpentinites. According to presented data the birbirites had been formed by the infiltration of  $\text{SiO}_2/\text{CO}_2$  enriched and low pH and low temperature ( $< 200^\circ\text{C}$ ) hydrothermal fluids channeled through discontinuities planes that lead to the pervasive silicification of already serpentinized peridotites.

**Key-words:** Birbirite, silicification, Ronda peridotites, Betic Cordilleras.

## RESUMEN

Por primera vez en las Cordilleras Béticas describimos, en este trabajo, la existencia y las principales características mineralógicas y petrológicas de birbiritas que son el resultado de un intenso metasomatismo de serpentinitas. Con los datos que se aportan se puede deducir que las birbiritas se han formado por la infiltración de fluidos hidrotermales de baja temperatura ( $< 200^\circ\text{C}$ ), bajo pH y enriquecidos en  $\text{SiO}_2/\text{CO}_2$ . La canalización de estos fluidos por planos de discontinuidad ha conducido a la silicificación generalizada de peridotitas que ya estaban serpentinizadas.

**Palabras clave:** Birbirita, silicificación, peridotitas de Ronda, Cordilleras Béticas.

Geogaceta, 50-1 (2011), 39-42.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 11 de Febrero de 2011

Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011

Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

## Introducción

El término birbirita, del Río Birbir, fue utilizado por primera vez por Duparc *et al.* (1927, referencia recogida en Molly, 1959), para designar a un grupo de rocas silíceas de tonalidades rojizas y ricas en hierro, originadas por lixiviación de Mg en las rocas ultrabásicas del macizo de Yubdo (Etiopía). Estas rocas, con aspecto de chert, están comúnmente asociadas a lisvenitas ó listwae-nitas, otro grupo de rocas metamórficas ricas en carbonato y sílice, procedentes de la alteración de rocas ultramáficas (Rose, 1837, referencia recogida en Uçurum, 2000).

Ambos tipos de rocas se describen en numerosos ambientes geológicos: zonas de cizalla entre serpentinitas y pizarras, *mélanges* ofiolíticas o incluso en bordes de macizos ultramáficos de tipo alpino. En todos ellos, la presencia generalizada de fallas o zonas de cizalla conforma entornos propicios para la circulación de los fluidos hidrotermales que darán lugar a su formación (Stanger, 1985; Buisson y Leblanc, 1985;

Auclair *et al.*, 1993; Akbulut *et al.*, 2006; Tsikouras *et al.*, 2006).

Actualmente, se considera que las birbiritas y las listvenitas son el producto final del metasomatismo de rocas ultramáficas previamente serpentinizadas (Auclair *et al.*, 1993; Uçurum, 2000; Akbulut *et al.*, 2006; Tsikouras *et al.*, 2006; Nasir *et al.*, 2007) y tienen un gran interés económico, ya que están asociadas a depósitos de oro y platino, los cuales tienden a concentrarse durante su formación.

En este trabajo describimos por primera vez la presencia de birbiritas en las rocas ultramáficas que afloran en el borde oriental de la Sierra de Cártama (Málaga) y que se engloban en las peridotitas de Ronda. Estos macizos ultramáficos son uno de los principales puntos de interés para la prospección minera en las Cordilleras Béticas, dado que las mineralizaciones identificadas en ellas (cromita, sulfuros y arseniuros de Ni-Fe-(Cu) y grafito) pueden tener concentraciones significativas en oro y elementos del grupo del platino (PGE) (Leblanc *et al.*, 1990; Gervilla y Leblanc, 1990).

## Localización y características de afloramiento

Las birbiritas estudiadas se localizan en el borde oriental de la Sierra de Cártama. Afloran junto al techo de la lámina de rocas ultrabásicas, en la zona de contacto con las granulitas del manto de Los Reales (Tubía, 1988, Fig. 1).

Las birbiritas aparecen como venas y filones silíceos con espesores variables (Fig. 2A) entre 1 y 25 cm. Presentan un tamaño de grano fino y fractura concoide. En corte fresco son rocas brillantes de color negro; en cambio, en afloramiento son frecuentes los tonos rojizos debidos a la presencia de goethita y patinas de óxidos de hierro sobre planos de diaclasas.

Estas venas atraviesan todas las estructuras primarias de las peridotitas (foliación, bandeado máfico). La orientación de las venas es bastante regular disponiéndose según dos sistemas principales: El primero de ellos presenta una dirección media  $\text{N}75^\circ\text{E}$  y altos buzamientos ( $82^\circ$ ) hacia el norte; mientras que el segundo, más desarrollado,

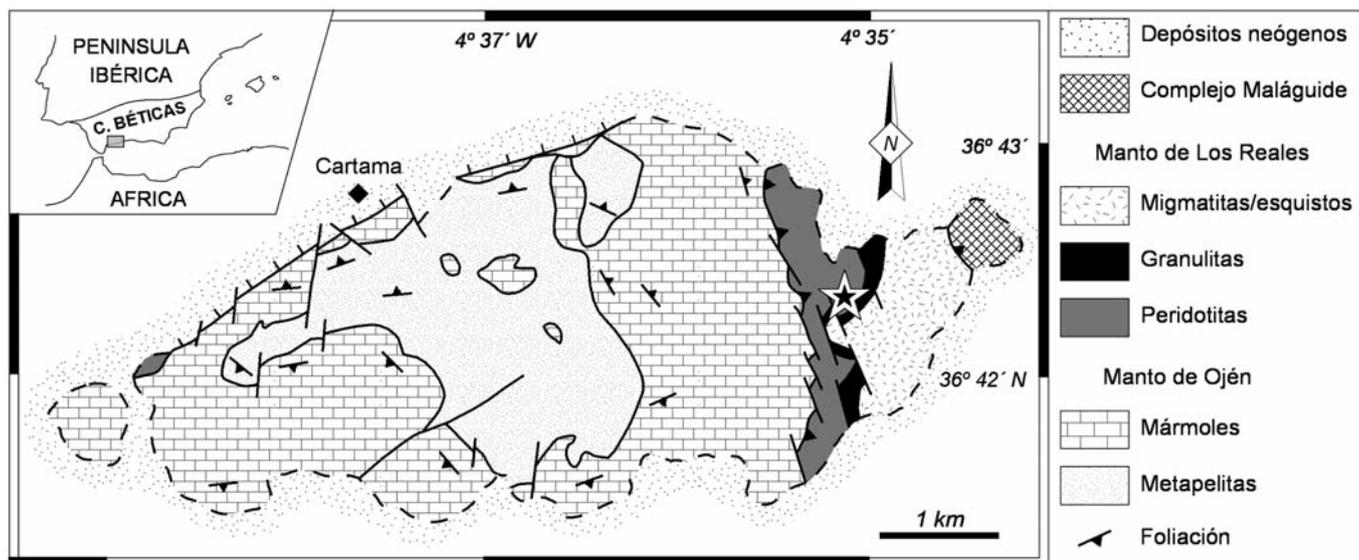


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado de la Sierra de Cártama (tomado de Tubía, 1988) y localización en las Cordilleras Béticas. La estrella muestra la localización de los afloramientos de birbiritas.

Fig. 1.- Simplified geological map of Sierra de Cártama (from Tubía, 1988) and location of the Betic Cordilleras. The star shows birbirite outcrops location.

presenta una dirección N330° E con buzamientos moderados (50°) al oeste.

**Descripción petrográfica**

Las birbiritas están compuestas mayoritariamente por cuarzo microcristalino (Fig. 2B) y venas de cuarzo/calcedonia (Fig. 2C), con espinela (picotita), dolomita, pirita, marcasita y sulfuros de Ni-Fe como accesorios. Presentan textura mallada, con núcleos turbios de cuarzo micro y criptocristalino y bordes limpios con fibras entrelazadas de cuarzo microcristalino (Fig. 2D). Los bordes contienen, ocasionalmente, agregados esféricos con crecimiento sintaxial. Es habitual la conservación de relictos de texturas propias de las serpentinitas, como las de tipo "mesh" o malladas, las bastitas, así como la presencia de granos relictos de espinela con texturas "holly-leaf". La dolomita se presenta en pequeños cristales romboédricos subautomorfos muy dispersos en la roca.

Las texturas del cuarzo observadas con el microscopio electrónico de barrido (SEM) muestran el predominio de intercrecimientos de microcristales con morfologías de aspecto coloidal (Fig. 3A) y un número importante de fracturas abiertas (Fig. 3B) originadas muy probablemente por la deshidratación de la sílice coloidal ("shrinkage"). Ocasionalmente, se encuentran moldes romboédricos de dolomita parcialmente rellenos por sílice de

baja temperatura de un episodio tardío (Fig. 3C). La pirita, localmente abundante (hasta un 4%), muestra geometrías octaédricas poco frecuentes (Fig. 3D). La presencia anecdótica de sulfuros de Ni-Fe fue identificada en el SEM por dispersión de energía de rayos X.

**Geoquímica**

El análisis de las birbiritas (Tabla I) revela muy altos contenidos en sílice (93,4 %), bajos en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,9 %) y una elevada pérdida al fuego (3,1 %), lo que demuestra la presencia de sulfuros y carbona-

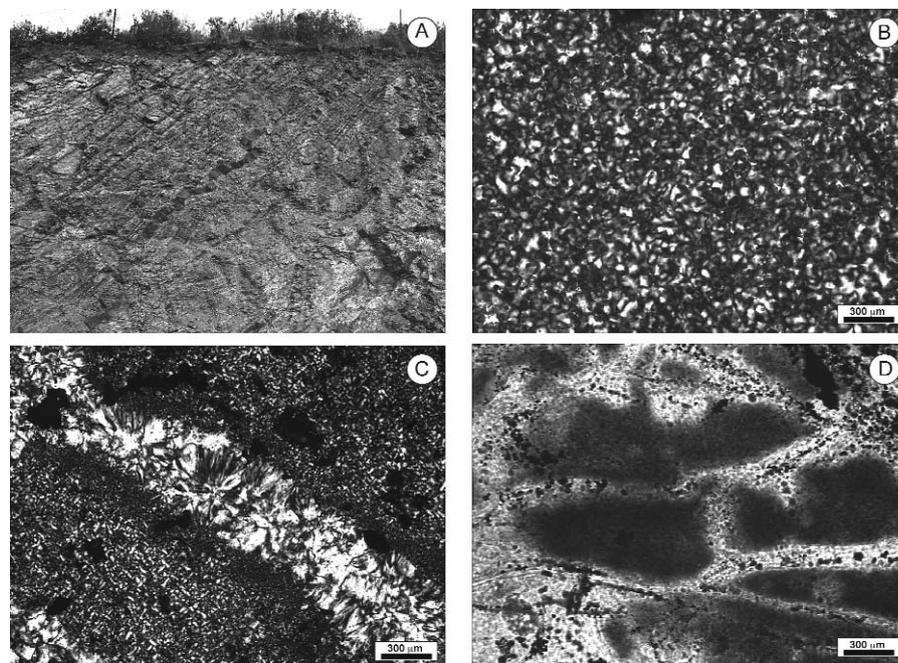


Fig. 2.- A) Fotografía de afloramiento de las venas de birbiritas. Microfotografías con luz polarizada de: B) Matriz microcristalina de cuarzo. C) Venas de calcedonia. D) Textura de tipo "mesh" de una serpentinita reemplazada por sílice microcristalina.

Fig. 2.- A) Outcrop view of birbirite veins. Photomicrograph with polarized light of: B) Microcrystalline matrix of quartz. C) Chalcedony vein. D) Mesh texture of a serpentinite replaced by microcrystalline silica

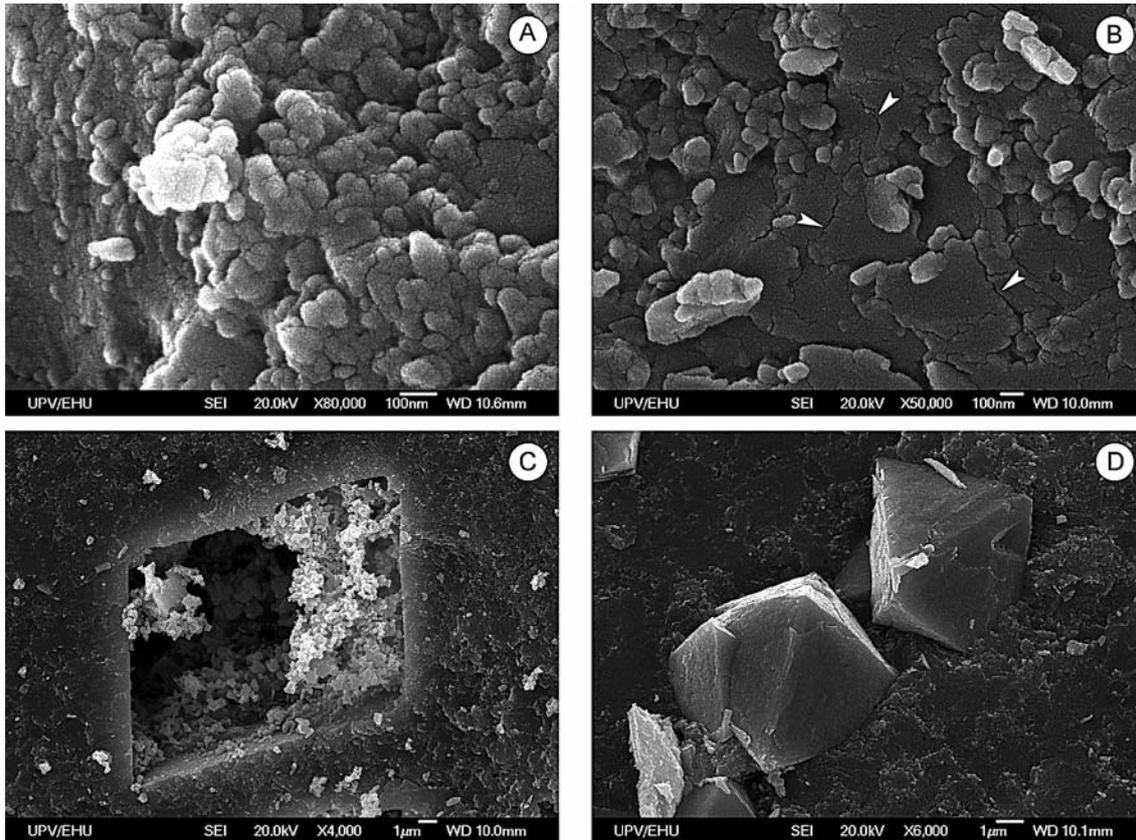


Fig. 3.- Imágenes de electrones secundarios obtenidas mediante SEM de birbiritas. A) Cuarzo microcristalino coloidal. B) Cuarzo microcristalino coloidal con evidencias de sinéresis. Las flechas señalan la localización de las fracturas generadas durante la deshidratación de la sílice. C) Molde romboédrico de un cristal de dolomita relleno por sílice coloidal. D) Cristales octaédricos de pirita inmersos en una matriz microcristalina de cuarzo.

Fig. 3.- Secondary electron images of birbirites. A) Colloform microcrystalline quartz. B) Colloform microcrystalline quartz with syneresis evidences. Arrows show open-crack locations developed from silica dehydration. C) Dissolved dolomite crystal with late colloidal silica precipitation. D) Octahedral crystals of pyrite immersed in a microcrystalline quartz matrix.

tos en la roca. La alta concentración de sílice comparada con la de sus posibles precursores (peridotita - 45 %; serpentinita - 40 %; listvenita - hasta el 85 %) sugiere la incorporación extra de  $\text{SiO}_2$  al sistema metasomático.

Las concentraciones de elementos trazas como el Co, Ni, Cr y V (Tabla I) son muy similares a las que presentan las rocas ultramáficas encajantes.

Las concentraciones en PGE son extremadamente bajas (inferiores a 100 ppb; Tabla I); pero si estos valores se comparan con los obtenidos para las peridotitas de Ronda o Beni-Boussera (Torres-Ruiz *et al.*, 1991; Gueddari *et al.*, 1996; Lorand *et al.*, 2000), comprobamos que alcanzan concentraciones hasta 15 veces superiores.

### Modelo genético

Muchos de los modelos genéticos propuestos para la formación tanto de las birbiritas como de las listvenitas (Auclair *et*

*al.*, 1993; Uçurum y Larson, 1999; Akbulut *et al.*, 2006; Nasir *et al.*, 2007) aluden a la variable carbonatación y silicificación de las serpentinitas causada por el flujo de soluciones hidrotermales. En estos modelos los fluidos hidrotermales con alto pH y altas temperaturas ( $> 300\text{ }^\circ\text{C}$ ) controlan la formación de los carbonatos y favorecen la solubilidad de la sílice, mientras que aquellos en los que intervienen fluidos con bajo pH y bajas temperaturas ( $< 300\text{ }^\circ\text{C}$ ) favorecen la precipitación casi exclusiva de sílice.

Con los datos aportados, podemos indicar que las birbiritas de la Sierra de Cártama derivan de peridotitas serpentinizadas, ya que conservan texturas pseudomórficas de serpentinitas, relictos de espinela de composiciones similares a las que presentan las peridotitas y concentraciones de elementos trazas exclusivos de estas rocas. En este sentido, podemos sugerir que la canalización a lo largo de fracturas de fluidos hidrotermales ricos en  $\text{SiO}_2$

y  $\text{CO}_2$  fue el principal mecanismo para la formación de las birbiritas. Los resultados preliminares de una modelización geoquímica ("forward and inverse modeling") utilizando el software Geochemist's Workbench v.3.0 (Bethke, 2000) indican que los fluidos reactantes presentaron moderadas a bajas temperaturas y bajas  $f\text{O}_2$  y  $f\text{S}_2$ , suficientes para favorecer la precipitación del cuarzo y de los sulfuros. Así, se pueden distinguir dos etapas de silicificación. En la primera de ellas, la adición de  $\text{CO}_2$  al sistema provocó la acidificación de los fluidos hidrotermales reactantes generando la descomposición de la serpentinita y la liberación de ácido silícico, para formar cuarzo microcristalino. La carbonatación, un proceso común durante los primeros estadios de la silicificación de las serpentinitas (Boschi *et al.*, 2009) también está presente. En una segunda etapa, coincidente con la adición extra de sílice a través de fluidos supersaturados, se redujo nuevamente el pH de las soluciones, favore-

Muestra	cart-06-4
<b>Elementos Mayores (wt. %)</b>	
SiO <sub>2</sub>	93,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,90
MgO	0,20
CaO	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,20
K <sub>2</sub> O	0,10
LOI	3,10
Total	100,80
<b>Elementos Traza (ppm)</b>	
Co	350
Cr	2057
Ni	907
V	28.60
<b>PGE (ppb)</b>	
Rh	22
Pd	94
Ir	7
Pt	62

Table. I.- Análisis químicos de roca total y de elementos del grupo del platino de una birbirita.

Table. I.- Whole rock chemical and platinum group elements analyses of a birbirite.

ciendo la disolución de los carbonatos y la precipitación del nuevo aporte de sílice en los moldes de dolomita (Barnes *et al.*, 1973; Stanger, 1985; Robinson, *et al.*, 2005). La estimación de la temperatura de formación de las birbiritas mediante inclusiones fluidas no es posible debido al tamaño de grano que presentan, sin embargo, la presencia de sulfuros de Ni-Fe, millerita (Craig, 1973), y marcasita permiten delimitar su formación a condiciones inferiores a 200 °C.

## Conclusiones

1) Este trabajo describe por primera vez la presencia de birbiritas en las peridotitas de Ronda.

2) Las evidencias de campo y texturales muestran que la formación de las birbiritas es el resultado de la silicificación de serpentinitas.

3) La circulación de fluidos hidrotermales a lo largo de sistemas de fracturas con bajo pH, temperatura (< 200 °C), fO<sub>2</sub>, fS<sub>2</sub> y enriquecidos en SiO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, provocó la intensa silicificación.

4) La serpentización de las peridotitas y la silicificación de las serpentinitas no modifica completamente la signatura mantélica, evidenciada por los elementos trazas, que presentan estas rocas.

5) Es interesante señalar que las birbiritas concentran PGEs y permiten estudiar su movilización hidrotermal.

## Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido financiada por los proyectos CGL-2007-60039 y CGL 2010-14869 del Ministerio de Ciencia e Innovación e IT-364-10 de "Grupos de Investigación del Sistema Universitario Vasco".

## Referencias

- Akbulut, M., Piskin, O. y Karayigit, A.I. (2006). *Geological Journal*, 41, 557-580.
- Auclair, M., Gauthier, M., Trottier, J., Jébrak, M. y Chartrand, F. (1993). *Economic Geology*, 88, 123-138.
- Barnes, I., O'Neil, J.R., Rapp, J., y White, D. (1973). *Economic Geology*, 68, 388-398.

- Bethke, C.M. (2000). *The Geochemist's Work-Bench (GWB) Version 3.2.2. A user's guide to Rxn, Act2, Tact, React and Gtplot*. Univ. Illinois, 214 p.
- Boschi, C., Dini, A., Dallai, L., Ruggieri, G. y Giannelli, G. (2009). *Chemical Geology*, 265, 209-226.
- Buisson, G. y Leblanc, M. (1985). *Economic Geology*, 80, 2028-2029.
- Craig, J.R. (1973). *American Journal of Science*, 273-A, 496-510.
- Gervilla, F. y Leblanc, M. (1990). *Economic Geology*, 85, 112-132.
- Gueddari, K., Piboule, M. y Amossé, J. (1996). *Chemical Geology*, 134, 181-197.
- Leblanc, M., Gervilla, F. y Jedwab, J. (1990). *Mineralogy and Petrology*, 42, 233-248.
- Lorand, J-P., Schmidt, G., Palme, H. y Kratz, K-L. (2000). *Lithos*, 53, 149-169.
- Molly, E.W. (1959). *Economic Geology*, 54, 467-477.
- Nasir, S., Al Sayigh, A.R., Al Harthy, A., Al-Khribash, S., Al-Jaaidi, O., Musllam, A., Al-Mishwat, A. y Al-Bu'saidi, S. (2007). *Chemie der Erde*, 67, 213-228.
- Robinson, P.T., Malpas, J., Zhou, M-F., Ash, C., Yang, J-S. y Bai, W.J. (2005). *International Geology Review*, 47, 177-202.
- Stanger, G. (1985). *Lithos*, 18, 13-22.
- Torres-Ruiz, J., Gervilla, F. y Leblanc, M. (1991). *Estudios Geológicos*, 47, 281-293.
- Tsikouras, B., Karipi, S., Grammatikopoulos, T.A., y Hatzipanagiotou, K. (2006). *European Journal of Mineralogy*, 18, 243-255.
- Tubía, J.M. (1988). *Estructura de los Alpujarrides occidentales: Cinemática y condiciones de emplazamiento de las peridotitas de Ronda. Publicaciones Especiales del Boletín Geológico y Minero de España*, 99, 124 p.
- Uçurum, A. (2000). *Ofioliti*, 25, 15-29.
- Uçurum, A. y Larson, L.T. (1999). *Chemie der Erde*, 59, 77-104.