

## TIPOLOGÍA DE LA PIRITA EN EL DEPÓSITO EPITERMAL DE PALAI-ISLICA (CARBONERAS, ALMERÍA). IMPLICACIONES EN LA GÉNESIS DE ORO.

Carrillo Rosúa F.J., Morales Ruano S. y Fenoll Hach-Alí P.

Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, 18002 Granada.

La mineralización epitermal de Au-Cu de Palai Islica (Carboneras, Almería) se encuentra dentro del cinturón volcánico de Cabo de Gata y encaja en rocas volcánicas calcoalcalinas (andesitas y dacitas), las cuales han sufrido una fuerte alteración hidrotermal.

El sulfuro mayoritario del depósito es la pirita, aunque calcopirita, esfalerita y galena también pueden encontrarse en cantidades importantes. Oro, tetraedrita-tenantita, bismutinita, sulfosales de Pb-Bi-Ag, matildita, sulfuros y telururos de Ag, tetradimita, arsenopirita, pirrotina, marcasita, bornita, sulfuros de Cu y estannita son siempre minerales accesorios. Óxidos de Fe, Ti y Sn son también fases comunes.

El Au se presenta como oro nativo (en áreas de silicificación masiva en la parte superficial del depósito) y como aleaciones de Au-Ag (en venas con sulfuros principalmente en dos niveles situados en profundidad (Morales-Ruano *et al.*, 2000; Carrillo *et al.*, 2001)). Las aleaciones de Au-Ag, que constituye la fase económicamente más significativa, se encuentran estrechamente ligadas a la pirita, de modo que se distinguen dos tipos de aleaciones de Au-Ag: a) incluidas en pirita (las más ricas en Au) y b) recreciendo pirita (las más ricas en Ag).

La pirita presenta una estrecha relación con el oro, por lo que su caracterización resulta esencial para comprender la génesis del oro. A partir del estudio petrográfico (microscopía óptica y SEM) y del análisis químico mediante EPMA, se han establecido siete tipos de pirita, con las características texturales y químicas que se describen a continuación.

**Piritas de grano grueso (> 20  $\mu\text{m}$ ):** *Tipo I:* Núcleos y bandas en cristales de pirita de tipo IV con un contenido en As de hasta un 1.6 % atm. El enriquecimiento en As va asociado a un marcado descenso de S (con una buena correlación negativa (de tipo 1:1) entre ambos elementos), sin que se observe correlación con el contenido en Fe. *Tipo II:* Núcleos y bandas en cristales de pirita de tipo IV ricas en Co (hasta 0.49% atm) y/o Ni (0.70% atm.). El aumento en el contenido de estos elementos va asociado con un descenso del Fe en esta variedad de pirita. *Tipo III:* Pirita con inclusiones asociadas de galena y enriquecimientos en  $\text{Pb}\pm\text{Bi}\pm\text{As}$  (hasta 0.11% atm). *Tipo IV:* Pirita no zonada y casi siempre desprovista de elementos trazas. Es frecuente que presente zonas ricas en poros, las cuales coinciden generalmente con las partes centrales de los cristales y frecuentemente contienen microinclusiones de pirrotina o de óxidos.

Los cristales de las aleaciones de oro, que son ubicuos de la pirita de tipo IV, se encuentran: (a) incluidos en zonas de pirita de tipo IV libres de poros, o (b) recreciendo a este tipo de pirita. Esta pirita de tipo IV, que es la mayoritaria en el depósito, puede presentar tres morfologías fundamentales: *piritoedro* (presente en todo el depósito), *cubo* (aparece en los niveles mineralizados donde se encuentran las aleaciones de Au-Ag) y *octaedro* (en el nivel superficial donde aparece el oro nativo).

**Piritas de grano fino (< 20  $\mu\text{m}$ ):** *Tipo V:* Pirita coliforme con contenidos de As hasta un 3.36 % atm y rica en otros elementos minoritarios (Cu hasta un 0.25%, Sb hasta un 0.31%, Zn hasta un 0.11%, Ni hasta un 0.10% y Ag hasta un 0.10% atm.). El As se correlaciona

negativamente con el S (aunque con una pendiente de  $-1.54$ ) y con el Fe. **Tipo VI:** Pirita framboidal “sensu stricto” y “pseudoframboidal”. Posee pequeñas cantidades de As (hasta 0.10 % atm). **Tipo VII:** Microgeodas y bandas de pequeños cristales de pirita en calcopirita.

En relación con la pirita de grano fino no se han encontrado nunca cristales de oro.

En lo que se refiere al quimismo mineral se deduce que el As, que es el más abundante de los elementos minoritarios, se incorpora principalmente en dos tipos de pirita y con un comportamiento cristalquímico diferente: (a) en la pirita de tipo I, como solución sólida metaestable en las posiciones del S; (b) en la pirita de tipo VI, como elemento no estequiométrico (con una cristalquímica dentro de la pirita no bien conocida) inducido quizás por un mecanismo de precipitación coloidal. Este último tipo de incorporación de As en la pirita lleva asociado la entrada de otros elementos minoritarios tales como Cu, Sb, Ag o Ni.

Por lo que se refiere a los elementos de posible interés económico, cabe destacar también que no se han detectado cantidades significativas del llamado “oro invisible” en ninguna de las siete variedades de pirita, ni siquiera en las piritas ricas en As que típicamente (i.e. Simon *et al.*, 1999) son las portadoras de éste. Se concluye por tanto que el oro de este depósito corresponde a oro libre (aleaciones de Au-Ag y oro nativo) y no a oro en la red de los sulfuros. Por lo que se refiere a la Ag, solo se han encontrado cantidades significativas en la pirita de tipo VI.

Se puede establecer una secuencia general en la cristalización de los distintos tipos de cristales de pirita y relacionarla con la formación del oro. En las etapas iniciales se formaron piritas de tipos I, II, IV (en parte proveniente de la transformación de pirrotina) y posiblemente de tipo V. En las primeras etapas no hay precipitación de Au-Ag. Posteriormente se produce una precipitación muy abundante de pirita de tipo IV, asociada a la cual se inicia la precipitación de las aleaciones de Au-Ag (ricas en Au), las cuales pueden continuar cristalizando (con contenidos en Au menores) una vez finalizada la formación de la pirita de tipo IV. Por otro lado, la cristalización de las aleaciones de Au-Ag va asociada al desarrollo de hábitos de cubo en la pirita de tipo IV. Esto puede reflejar cambios en el estado sobresaturación de los fluidos mineralizadores (Murowchick y Barnes 1987), que pueden estar originados por una mezcla de fluidos que da lugar a la formación del oro. Por último la pirita de tipo VI y VII son las aparentemente más tardías en la secuencia paragenética.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Carrillo, F.J., Morales-Ruano, S. y Fenoll Hach-Alí, P., (2001) Enviado a Ore Geol. Rev.  
 Morales Ruano S., Carrillo Rosúa, F.J., Fenoll Hach-Alí, P., de la Fuente Chacón, F., Contreras López, E., (2000). Can. Mineral., 38, 553-566.  
 Murowchick, J.B., Barnes, H.L., (1987). Ame Mine 72: 2615-3365.  
 Simon, G., Huang H., Penner Hahn, J.E., Kesler, S.E., Kao, L.H., (1999). Ame. Mine., 84, 1071-1079.

Este trabajo ha sido financiado por la DGES (proyecto PB97-1211) y el Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía RNM 131.