

# Alteración Hidrotermal en el Depósito Epitermal de San José (Almería): Quimismo y Mineralogía

/ IÑAKI ESTEBAN ARISPE (1, \*), FRANCISCO VELASCO ROLDÁN (2), FRANCISCO JAVIER CARRILLO ROSÚA (3), IÑAKI YUSTA ARNAL (2), SALVADOR MORALES RUANO (1)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias, Fuentenueva s/n. Universidad de Granada. 18002, Granada (España).

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencia y Tecnología, Barrio Sarriena s/n. Universidad del País Vasco. 48940, Lejona (España).

(3) Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación, Campus Universitario de la Cartuja. 18071, Granada (España).

## INTRODUCCIÓN: MARCO GEOLÓGICO.

### Contexto Regional.

Las mineralizaciones de San José se encuentran localizadas en la provincia volcánica del SE de España, dentro del cinturón volcánico de edad Neógena que se extiende desde Cabo de Gata hasta Cartagena. Este vulcanismo muestra una amplia variación composicional en forma de materiales calcoalcalinos, calcoalcalinos altos en K, shoshoníticos, alcalinos y ultrapotásicos. En líneas generales las rocas más antiguas aparecen concentradas en las zonas más meridionales (e.g. Fernández Soler, 1996), siendo cada vez más jóvenes según se avance hacia el NE. Asociados a estos materiales se encuentran una serie de depósitos minerales, vinculados generalmente a la propia actividad volcánica, cuyas últimas emisiones dieron lugar al desarrollo de sistemas hidrotermales, formando una serie de mineralizaciones de metales preciosos (Au, Ag) y metales base (Pb, Zn, Cu) (Arribas, 1992; Carrillo Rosúa, 2005).

### Geología de la Zona de Estudio.

Las mineralizaciones de metales base y preciosos de San José, de tipo Pb-Zn-Cu-Mn-(Ag)-(Au), aparecen en forma de filones subverticales de potencia que llega a ser métrica, con centenares de metros de corrida y profundidad desconocida. Están encajados en una alternancia de materiales lávicos y piroclásticos de composición riolítica-riodacítica (coladas, brechas y *surges*), que a techo pasan a ser andesíticas; finalmente se emplazaron rocas lávicas en estructuras domales de composición dacítica (Fernández Soler, 1996). El vulcanismo en la zona finaliza con la emisión de andesitas anfibólicas, única unidad que no muestra alteración hidrotermal. La mineralogía de las rocas encajantes está constituida por

feldespatos (plagioclasa y feldespato potásico), piroxeno (augita), anfíbol (hornblenda), biotita, cuarzo y vidrio. En relación con los citados procesos magmáticos se desarrollaron sistemas hidrotermales que dieron lugar a la formación de yacimientos epitermales y las zonas de alteración que éstos llevan asociadas, objeto de este estudio.

### Muestreo y Métodos Empleados.

Partiendo de la cartografía existente (Pineda Velasco, 1984), se procedió a realizar diversos itinerarios que atraviesan la zona de alteración hidrotermal ligada a los depósitos existentes en la zona (Esteban et al., 2007). Las muestras obtenidas fueron analizadas mediante PIMA, previamente calibrado con muestras de mineralogía conocida. Los análisis obtenidos han permitido realizar una caracterización mineralógica de las típicas zonas de alteración que fueron clasificadas como propilítica, argílica, argílica avanzada y silicificación. A partir de estos datos, se seleccionaron las muestras más representativas de cada tipo de alteración, de cara a realizar una adecuada caracterización química y mineralógica de la roca alterada, y así poder determinar el funcionamiento de los procesos de alteración tanto a escala de roca como de mineral. Dichas muestras han sido analizadas mediante XRD para confirmar las observaciones realizadas mediante el infrarrojo portátil. Posteriormente se analizaron las rocas más representativas (n=13) con un espectrómetro XRF secuencial Philips PW 1480® (Sgiker, Universidad del País Vasco) utilizando la metodología de Yusta et al. (1994). Tras la molienda con útiles de WC (carburo de wolframio) se han determinado los óxidos mayoritarios y 19 elementos traza empleando perlas de vidrio borado. Además se ha realizado sobre ellas un estudio petrográfico (mediante

microscopio óptico y electrónico), completando la caracterización de las fases que reemplazan los minerales volcánicos con numerosos microanálisis mediante microscopio electrónico (EDX) y sonda electrónica (WDX).

### DATOS OBTENIDOS.

#### Quimismo de Roca Total.

Los datos analíticos de roca muestran en general una disminución progresiva de los contenidos en la mayoría de los elementos según aumenta el grado de alteración en la roca, a excepción de la sílice y, en menor medida, el azufre. Esta tendencia no se cumple en el caso de la alteración argílica avanzada, donde el azufre aumenta debido a la presencia de alunita. Respecto a los elementos menores, Zn, As, Cu, Rb, Ba, Pb y P pueden alcanzar localmente contenidos significativos, especialmente en muestras procedentes de zonas con alteración propilítica y argílica avanzada. Para dilucidar las causas de dichas anomalías, se han estudiado las mismas muestras al microscopio electrónico.

#### Estudio Petrográfico y de Quimismo Mineral.

El estudio petrográfico reveló que las rocas más porosas y permeables (piroclásticas) muestran un grado de alteración mayor que las rocas lávicas, siendo en casos tan intensa que llega a desaparecer la mayoría de las características originales, conservando de manera excepcional algunos "fantasmas" de fenocristales. Este diferente modo de alteración se aprecia fácilmente en el campo, cuando aparecen en contacto facies lávicas y piroclásticas. Mientras las rocas lávicas se ven menos afectadas, exhibiendo una alteración de tipo propilítica, las facies fragmentales (piroclásticas) aparecen

**palabras clave:** Alteración hidrotermal, epitermal, clorita.

**key words:** Hydrothermal alteration, epithermal, chlorite.

más alteradas, con diferente grado de transformación mostrando una alteración típicamente argílica. Por otro lado, los distintos minerales se ven transformados de manera diferente ante los procesos de alteración hidrotermal, mostrando en cada caso una evolución propia.

En la **alteración propilítica**, los minerales ferromagnesianos (piroxeno, anfíbol y biotita) muestran una completa transformación a clorita. En los análisis con microsonda de estas fases se ha identificado que existe una variación composicional entre la clorita procedente de la alteración de los piroxeno (muestras con valores MgO y FeO más elevados) y la correspondiente a la transformación de biotita (valores superiores de SiO<sub>2</sub>). La clorita de las zonas propilíticas también se encuentra, aunque en menor medida, transformando a los feldespatos y la matriz. En todos los casos, la clorita muestra una proporción significativa de Zn (hasta 0,31 a.p.f.u.), pudiendo este hecho justificar los altos valores de Zn detectados en muestra total en XRF (hasta 0,52% en peso). Asimismo, se debe señalar que el reemplazamiento suele respetar la forma previa del fenocristal (hábito) sustituido, así como alguna de sus características (e.g. exfoliación, impurezas). Junto a algunos cristales de clorita suelen aparecer asociados óxidos de Fe y Ti, supuestamente subproductos de la alteración de los minerales ferromagnesianos (probablemente de la biotita y/o ilmenita). Por el contrario, los feldespatos muestran una alteración parcial a clorita, acompañada de pequeños cristales de mica blanca de composición ilítico-fengítica.

En el caso de la **alteración argílica**, se observa una completa transformación de los minerales ferromagnesianos a una mezcla de filosilicatos de tamaño de grano muy pequeño (especialmente en las muestras más alejadas del foco hidrotermal, o en rocas que presentan menos porosidad). Los microanálisis (SEM-EDS y microsonda) de estos agregados han revelado que se trata de mezclas muy heterogéneas de illita y esmectita. Por otro lado, los feldespatos presentan una intensa alteración a esmectitas (localmente completa). Por el contrario, en las zonas proximales de alteración más intensa, se observa una completa transformación de los ferromagnesianos y feldespatos, a una fina mezcla de illita y caolinita.

Debemos señalar que en esta zona la matriz muestra un incipiente proceso de silicificación, mientras que en las zonas más alejadas, con predominio de alteración propilítica, la matriz vítrea sufre una intensa cloritización. También se ha observado en esta zona la aparición de cristales prismáticos de hinsdalita ((Pb,Sr)Al<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>)(OH)<sub>6</sub>), diseminados en la matriz, con núcleos de óxidos de Fe.

Respecto a la **alteración argílica avanzada**, se observa una total transformación de los minerales de la roca y el vítreo a un intercrecimiento de illita-caolinita y alunita. Esta transformación es completa en los minerales ferromagnesianos y quizás menor en los feldespatos, acompañada generalmente de formación de óxidos de Fe y Ti. Desde un punto de vista mineralógico, la principal diferencia respecto a la alteración argílica es la formación de alunita, la cual suele desarrollarse preferentemente sobre antiguos cristales de feldespato potásico. Esta alunita posteriormente ha sido removilizada, reprecipitando como rellenos de fracturas y, posteriormente transformada en jarosita (¿fluidos meteóricos?). En esta zona, la silicificación de la matriz es total, conservándose únicamente fantasmas de algunos fenocristales reemplazados.

En el caso de más intensa alteración (junto a los filones) aparece roca totalmente **silicificada**, tanto matriz como fenocristales, aunque en algunos casos es posible observar también "fantasmas" de cristales previos (e.g., biotita y piroxeno). También se encuentran aquí, aunque en menor proporción, alunita y pirofilita en forma de agregados cristalinos rellenando oquedades y fracturas de la roca silicificada. En otros casos, se constata la presencia abundante de pirita en cristales submilimétricos con hábito pentagonododecaédrico, sobre todo en espacios dejados por fenocristales previos.

#### CONCLUSIONES.

El estudio de las muestras procedentes de las zonas de alteración hidrotermal de San José, pone de manifiesto la existencia de diversos controles en los procesos de alteración hidrotermal, aparte de los obvios de proximidad o lejanía a los focos hidrotermales y las características físico-químicas de los fluidos. Por una parte la mineralogía, de

tal modo que la composición del material original (cristales y matriz volcánicos) ha condicionado o fijado la composición de las fases neoformadas y su abundancia relativa, implicando una limitación en la movilidad de los elementos a escala de grano. Este control es muy acusado en la alteración propilítica y menor o ausente en las zonas de alteración más intensa (silicificación), donde los cambios de masa son elevados y es mayor la movilidad de los elementos. Por otra parte, las estructuras y texturas (litología) y su inherente porosidad, que ha permitido una mejor circulación de los fluidos por las zonas de fracturas y facies clásticas, dando lugar a diferentes grados de transformación en rocas pertenecientes a una misma zona de alteración hidrotermal.

#### AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Excelencia RNM736 "Recursos Minerales y Medio Ambiente: Aplicaciones de los Analizadores Espectroscópicos Portátiles de Infrarrojos y Fluorescencia (PIMA y PXRFA)", de la Junta de Andalucía.

#### REFERENCIAS.

- Arribas R., A. (1992): *Las mineralizaciones de metales preciosos de la Zona Central del Cabo de Gata (Almería) en el contexto metalogénico del SE de España*. Tesis Doctoral, Univ. de Salamanca. 443 pp.
- Carrillo Rosúa, F. J. (2005): *El depósito epitermal de oro-cobre de Palai-Islica (Carboneras, Almería). Mineralogía, geoquímica y metalogénia*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada. 421 pp.
- Esteban, I., Morales-Ruano, S., Carrillo-Rosua, F. J., Yusta, I. y Velasco, F. (2007): *Aplicación de la Espectroscopía de Infrarrojo para definir zonas de alteración hidrotermal asociadas a yacimientos epitermales del SE de España*. *Macla*, 7, 104.
- Fernández Soler, J. M. (1996): *El vulcanismo calco-alcalino en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería). Estudio volcanológico y petrológico*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada. Sociedad Almeriense de Historia Natural, 295 pp.
- Pineda Velasco, A. (1984): *Las mineralizaciones metálicas y su contexto geológico en el área volcánica neógena del Cabo de Gata (Almería, SE de España)*. *Bol. Geol. y Min.*, **XCV-VI**, 569-592.
- Yusta, I., Velasco, F. y Herrero, J. M. (1994): *The determination of major oxide and ten trace element concentrations in fifty-eight geochemical reference samples by X-ray spectrometry (WD-FRX)*. *Bol. Soc. Esp. Min.*, **17**, 39-50.