

Notas Breves

Kasolita de la mina “San Rafael”, Cardeña
(Córdoba, España)Inmaculada RAMOS MÁRQUEZ⁽¹⁾, César MENOR SALVÁN⁽²⁾
Miguel CALVO REBOLLAR⁽³⁾, Antonio CARMONA RUIZ⁽⁴⁾
Joan VIÑALS⁽⁵⁾(1) E-mail: inma.ramos@gmail.com(2) Centro de Astrobiología (CSIC-INTA). Ctra. Torrejón-Ajalvir, Km 4,200
E-28850 Torrejón de Ardoz (Spain)
E-mail: menorsc@cab.inta-csic.es(3) Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Universidad de Zaragoza.
C/Miguel Servet, 177. 500013. Zaragoza (España)
E-mail: calvoreb@unizar.es(4) E-mail: a.carruiz@gmail.com(5) Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Química.
Universidad de Barcelona. C/Martí i Franqués, 1, 08028. Barcelona (España)Barcelona (España)
E-mail: jvinals@ub.edu**Resumen**

I. RAMOS MÁRQUEZ; C. MENOR SALVÁN; M. CALVO REBOLLAR; A. CARMONA RUIZ y J. VIÑALS (2012) Kasolita de la mina “San Rafael”, Cardeña (Córdoba, España). *Acopios*, **3**: 63-76.

La mina “San Rafael” (Cardeña, Córdoba) fue una de las principales explotaciones situadas sobre el filón Zumajo, formado por cuarzo y mineralización metálica de Pb-Zn, enclavado en el contexto del plutón granodiorítico de Los Pedroches. En este trabajo se describe el hallazgo de kasolita (silicato de uranio y plomo) en el material filoniano de la mina “San Rafael” y se discute el posible origen de este mineral.

Palabras clave: Kasolita; Filón Zumajo; Los Pedroches; Cardeña; Mineral de Plomo.

Abstract

I. RAMOS MÁRQUEZ; C. MENOR SALVÁN; M. CALVO REBOLLAR; A. CARMONA RUIZ y J. VIÑALS (2012) The kasolite from San Rafael mine, Cardeña (Córdoba, Spain). *Acopios*, **3**: 63-76.

The “San Rafael” mine (Cardeña, Cordoba) was one of the main workings that benefit lead ore from the Zumajo vein, a quartz vein containing a rich Pb-Zn mineralization situated in the context of Los Pedroches granodioritic pluton. This work describes the finding of kasolite (a lead uranyl silicate) in the vein material and possible origin for the mineral is discussed.

Keywords: Kasolite; Zumajo vein; Los Pedroches; Cardeña; Lead Ore.

INTRODUCCIÓN

La mina “San Rafael” se sitúa en Sierra Morena, en el término municipal de Cardeña, al norte de la provincia de Córdoba, en la Comarca de Los Pedroches.

El municipio de Cardeña, situado en el ángulo noreste de la provincia, es uno de los más extensos de Córdoba, ostentando la cualidad de ser el de más altitud, con sus 746 metros s.n.m. Se trata de uno de los municipios de más reciente creación tras haberse segregado de Montoro en el año 1930. Presenta, en general, una topografía suave y poco accidentada en los terrenos graníticos y más abrupta y elevada en las áreas marginales pizarrosas.

Una gran parte de la comarca está cubierta por encinas y paisajes adhesados, siendo la ganadería y la agricultura las principales fuentes de ingresos para la zona. Es destacable también la abundancia de caza, tanto mayor como menor, que atrae a muchos cazadores a sus cotos.

A la mina se accede por Cardeña, tomando la carretera A-420 en dirección a Villanueva de Córdoba. Unos 300 metros después del km. 10 surge a la derecha el camino de entrada a La Vacadilla. Tomando dicho camino, a poco más de 200 metros se dejan unas casas a la derecha; continuando unos 600 metros por el mismo carril principal se alcanza el Cortijo de La Vacadilla, que habrá que pasar, recorrer 360 metros y cruzar una puerta. A continuación aparecen tres caminos, de entre los cuales debemos tomar el de la derecha, recorrer 900 metros y llegar a una bifurcación; siguiendo esta última a la izquierda llegaremos al pozo maestro o “San Rafael”, y tomando la de la derecha se pasa junto al Pozo N° 3.

Este trabajo abre el estudio sistemático de la mineralogía de la mina “San Rafael” y del filón que fue su objeto de explotación, el filón Zumajo, comenzando por uno de los hallazgos singulares en su mineralogía: la kasolita.

MARCO GEOLÓGICO

La mina se enclava en el Batolito de Los Pedroches, alineación magmática tardihercínica que se constituye como la estructura geológica más importante de la parte meridional de la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico. Éste queda dividido en seis zonas (LOTZE, 1945), dos de las cuales limitan el Batolito: por el norte, la Zona Este Lusitano-Alcúdice, y por el Sur la Zona de Ossa-Morena.

El batolito se desarrolla en dirección O-NO a E-SE a lo largo de más de 200 km y con anchuras que oscilan entre 8 y 30 km (Carracedo et al. 1997). Se extiende por las provincias de Badajoz, Córdoba y Jaén, ocupando un área aproximada de 2.500 km². En esencia está constituido por dos unidades plutónicas: la Unidad Granodiorítica y la Unidad Granítica, y por un importante complejo filoniano. Se le calcula una edad estimada de unos 310 MA para el plutón granodiorítico y hasta 300 MA para los plutones graníticos más jóvenes (Carracedo et al. 1994). El complejo del Batolito de Los Pedroches se enclava temporalmente en la fase final del ciclo hercínico, en el Pensilvaniense Superior (Carbonífero).

Una característica importante del batolito es el hecho de estar surcado por una red de filones y diques de formación postbatolítica y que han dado lugar a un gran número de yacimientos minerales, conocidos y explotados desde la época romana.

Entre los filones hidrotermales se halla el filón Zumajo, que es una gran desgarradura a lo largo de la cual se multiplican las fracturas de dirección regional (N.-55°-O.), y cuya

longitud total llega a los 30 km, repartidos entre los términos de Cardeña y Villanueva de Córdoba, encajando, en su extremo noroeste en la unidad granodiorítica de Los Pedroches, atravesando el contacto, con diversos diques de pórfido riolítico y penetrando en el plutón granítico de Cardeña-Virgen de la Cabeza. Aprovechando este gran accidente tectónico se han desarrollado numerosos diques de tipo aplítico pegmatítico, seguidos a continuación por la mineralización de calcita-barita-fluorita con galena, esfalerita, sulfuros de cobre y otros sulfuros complejos. Posteriormente el mecanismo de fracturación siguió actuando, dispersando con ello las mineralizaciones y produciendo potentes salbandas de milonitas y ultramilonitas arcillosas que produjeron una discontinuidad de las estructuras mineralizadas, complicando en exceso las labores de explotación.

Son numerosas las concesiones mineras que se alinean a lo largo de la corrida del filón "Zumajo", aunque nunca se alcanzaron profundidades muy superiores a los 100 metros. En general, a lo largo del filón sólo existen pequeñas labores de calicateo, a excepción de las minas San Rafael y San Juan, que tuvieron un laboreo más destacado.

MINERÍA

Historia

La Concesión nº 2444, "San Rafael", fue solicitada el 27 de noviembre de 1885, admitiéndose su solicitud en la misma fecha. Pasó a demarcarse el 20 de mayo de 1886, para finalmente ser otorgada el 21 de julio de 1886 y entregado el Título en fecha 9 de octubre de 1886.

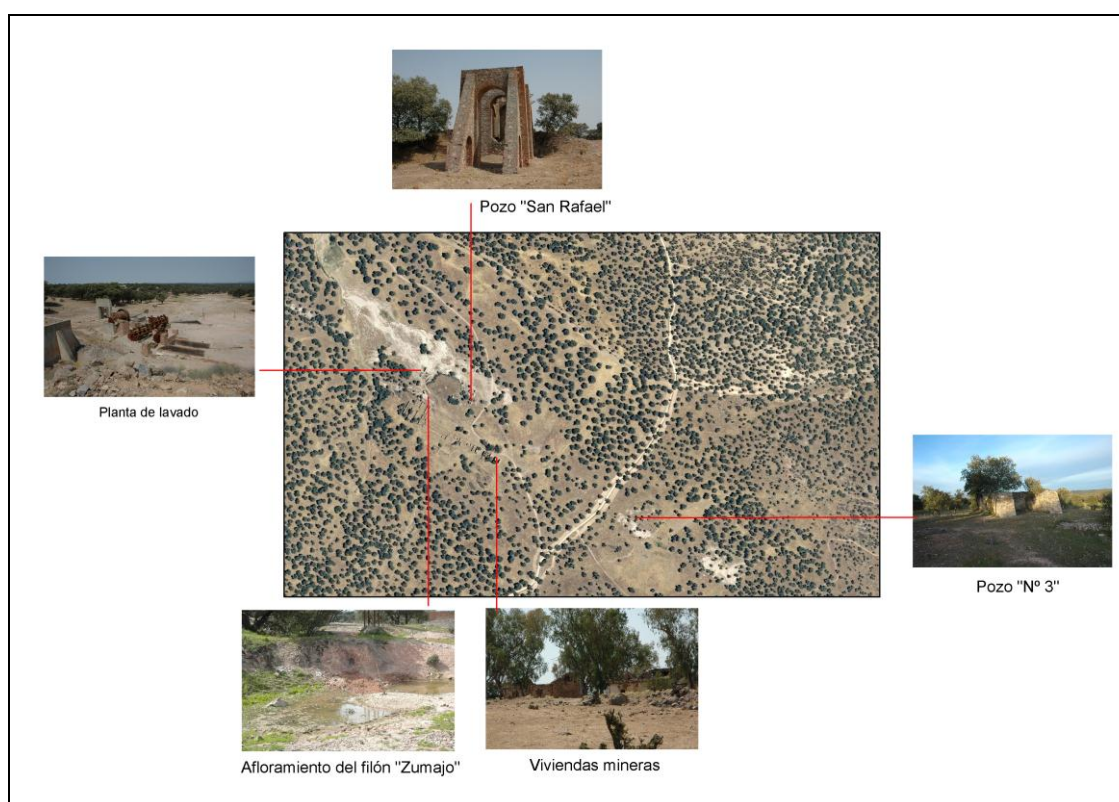


Figura 1: Situación de las labores de la mina "San Rafael" indicadas sobre Ortofotografía Básica Color de Andalucía. Año 2010-2011, editada por la Junta de Andalucía.

Su superficie comprendía parte de las caducadas "La Princesa", nº 667, "Hércules", nº 665 y "La Luz", nº 1312.



Figura 2: Pozo N°3 y escombrera con granito y material filoniano en la que se ha recogido kasolita (marzo 2012). Mina "San Rafael".

Se otorgaron un total de 34 pertenencias, para la explotación de plomo, a la *Compañía de los Ferrocarriles Andaluces, S.A.* (en adelante C.FF.AA.), sociedad fundada en Madrid mediante escritura de 30 de mayo de 1877.

Formó parte de un Grupo Minero, el más intensamente explotado del área del Filón "Zumajo", que se arrendó el 18 de abril de 1912 a la Sociedad Minero y Metalúrgica de Peñarroya (en adelante SMMP). Esa etapa de explotación coincidió con la Primera Guerra Mundial, circunstancia que incrementó la demanda de mineral, por lo que se alcanzó una producción de 9.465 toneladas (años 1913-1918).

Entre 1923 y 1925, se relavaron las escombreras de la mina y, una vez se hubo retirado la SMMP, la explotación quedó en manos de cuadrillas de *sacageneristas* que, durante un número indeterminado de años, practicaron labores de rebusca en las antiguas escombreras y extracción de mineral en las zonas del filón aún no explotadas.

Hacia 1969 la empresa titular de la concesión (C.FF.AA.) arrendó la misma a un particular, que instaló un lavadero de flotación para relavar las escombreras de la mina, actividad que se prolongó por unos años, arrojando una producción mensual de 45 Tm de concentrados.

En el año 1977 la sociedad EXMINESA firmó un acuerdo con la Titular (C.FF.AA.) para investigar varias de las concesiones de este y otros grupos del filón Zumajo, englobándolas todas en un Permiso de Investigación denominado "San Francisco". Dicha empresa realizó una geoquímica a lo largo de los 30 km del filón, continuando con una campaña geofísica por el método de Polarización Inducida que no produjo buenos resultados. Proyectaron también una serie de sondeos, pero la investigación no llegó a terminarse por los problemas surgidos con los propietarios de los terrenos y por la reducción de los créditos, lo que a la postre abocaría el Proyecto a su abandono definitivo.



Figura 3: Zona de escombrera principal desmantelada junto al Pozo Maestro o "San Rafael" (febrero de 2009)

En las décadas de 1960 y 1970 se llevaron también a cabo varias campañas de investigación a cargo del IGME y de ADARO, parte de cuyos datos se han consultado para elaborar esta breve nota y describir las labores de explotación y las principales características del yacimiento.

Por último, a comienzos de los 80 fue investigada la zona por MAYASA (*Minas de Almadén y Arrayanes, S.A.*)

La concesión "San Rafael" se caducó mediante Resolución del Consejero de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía de fecha 8 de abril de 1997.

Laboreo

El laboreo de "San Rafael" se desarrolló por medio de 3 pozos: el llamado Pozo Maestro, N° 1 o "San Rafael", y los Pozos auxiliares N° 2, y N° 3, al Oeste y al Este del Maestro. En superficie afloran unos crestones de 4 a 8 metros de anchura, siendo los más destacados de la zona, y sobre los que se practicaron rafas a lo largo de 400 metros.

La dirección del criadero explotado es E. 45° S. al O. 45° N. con relación al Norte verdadero. El buzamiento medio es de 75° N., aunque varía a lo largo del yacimiento hasta quedar próximo a la vertical a 100 metros de profundidad. La potencia de la caja filoniana es muy irregular, estando comprendida entre un máximo de 12-14 metros y un mínimo de hasta 2 metros.

El pozo maestro llegó a los 108 metros, habiendo cortado el filón a los 103 y 100 metros, donde se emboquilló la última planta, que con las correspondientes a los niveles 61 y 30 metros, constituyen las 3 plantas o niveles de explotación existentes en la mina "San Rafael".

La transformación del filón en profundidad a buzamiento casi vertical alentó a la profundización de los pozos, aunque los resultados alcanzados defraudaron las

expectativas. Los pozos N° 2 y N° 3 llegaron a los 60 metros, hallando una metalización de solo 3 cm. Idéntico resultado de las labores del Pozo Maestro que, como acaba de indicarse, alcanzó los 108 metros de profundidad.

MINERALOGÍA

El filón Zumajo es una estructura peculiar dentro de la red de filones del batolito de Los Pedroches, debido a su dirección, su edad tardía y su composición. No parece existir una relación genética entre el filón y el Plutón en el que encaja, procediendo la mineralización de una intrusión posterior. El estudio de las relaciones isotópicas del plomo en la galena del filón Zumajo indica que el fluido hidrotermal pudo cargarse de plomo radiogénico procedente de los granitos encajantes, enriqueciendo el filón en este metal (García de Madinabeitia *et al.* 2002).

El filón está constituido por cuarzo masivo y sacaroideo, con considerable tectonización y con brechas silicificadas y mineralizadas con sulfuros metálicos, así como fracturas rellenas de carbonatos, básicamente calcita. Se ha citado la ankerita, pero no la hemos identificado en las muestras estudiadas. El principal mineral metálico del filón es la galena, muy abundante, formando grandes cristales toscos y masas incluidos en la matriz cuarzosa. En muchos casos aparece disgregada y con considerable alteración. La esfalerita es el siguiente mineral primario en abundancia.

La mineralización de plomo del filón Zumajo dio lugar a una variada paragénesis de minerales secundarios. Entre ellos, la kasolita y la willemita, identificadas y estudiadas en las muestras obtenidas en la mina San Rafael, constituyen probablemente los hallazgos más interesantes.

Kasolita

La kasolita es un silicato de uranilo y plomo, monoclinico (clase $2/m$) y de fórmula $Pb(UO_2)SiO_4 \cdot H_2O$. Fue descubierta en la mina de Shinkolobwe (antes denominada Kasolo), en el famoso distrito cuprífero de Katanga (Rep. Dem. del Congo) por Shoep en 1921. En la Península Ibérica se ha observado en la mina “Esperanza” (Villar de la Yegua, Salamanca, España; Arribas, 1967) y se cita en las minas “Fonte Velha” (Trancoso, Gualda) y Pinhal do Souto (Mangualde, Viseu) de Portugal, si bien no hemos localizado referencias bibliográficas al respecto. De formación usualmente supergénica, se asocia a la oxidación de uraninita en ambientes enriquecidos en plomo, bien radiogénico o bien procedente de galena, y a la alteración de minerales de uranio por aguas meteóricas cargadas de sílice. Pertenece al grupo de la uranofana, caracterizado por la presencia de grupos $[(UO_2)(SiO_4)]^{2-}$ en su estructura cristalina, formados por bipirámides pentagonales de uranilo y tetraedros de silicato unidos compartiendo vértices. Estas estructuras forman láminas tipo α -uranofana, conteniendo en el espacio intermedio un complejo intersticial formado por un catión Pb^{2+} y una molécula de agua que, a su vez, forma enlaces por puente de hidrógeno con moléculas de agua adyacentes, estabilizando la estructura intersticial y confiriendo al mineral resistencia a la deshidratación. Esta comienza a 110°C y es total a 450°C (Fron del, 1958), hecho que puede ser importante para proponer hipótesis sobre su formación en el yacimiento. Su estructura laminar le confiere exfoliación pinacoidal perfecta en $\{001\}$. El catión de plomo está coordinado con la molécula de agua, cuatro átomos de oxígeno del uranilo y dos átomos de oxígeno de los vértices compartido entre tetraedros de silicato y bipirámides de uranilo. Aunque los compuestos de uranilo suelen mostrar una llamativa fluorescencia con luz UV de onda larga, la presencia de plomo inhibe (‘quenching’) este efecto, por lo que la kasolita muestra fluorescencia débil o ausencia aparente de ella a simple vista. La configuración de los enlaces de oxígeno dentro de

estas unidades estructurales, con las unidades adyacentes y el complejo intersticial, confieren a la kasolita una gran estabilidad en un rango de pH amplio (Fejfarová et al. 2010). La uranofana, el silicato de uranilo y calcio de estructura equivalente, es una de las fases de uranilo más abundantes en la Naturaleza. Sin embargo, en ambientes ricos en plomo, la kasolita es la fase preponderante por encima de la uranofana y de los fosfatos/arseniatos de plomo, hecho de suma importancia que se observa particularmente bien en el yacimiento que nos ocupa.

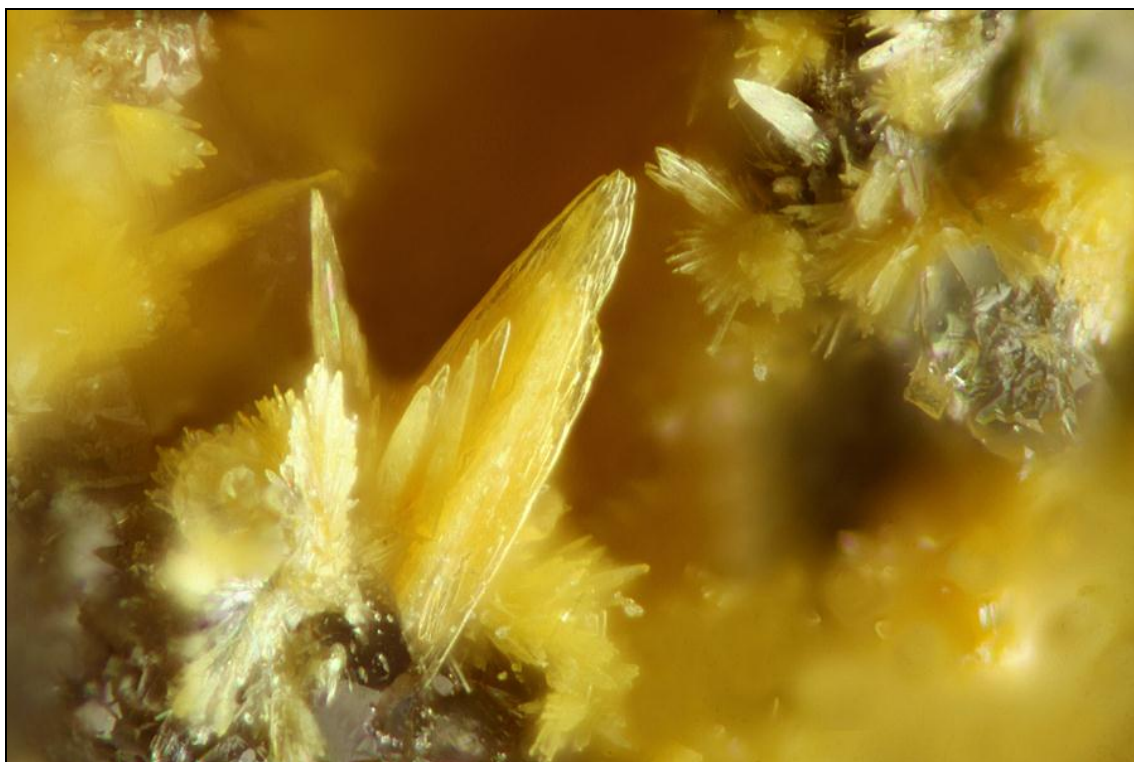


Figura 4: *Cristal de kasolita mostrando el hábito más común en las muestras obtenidas en el Pozo N°3 de Mina "San Rafael". Encuadre 1.5 mm. Fotografía: Jean-Marc Johannet.*

En la mina "San Rafael", la kasolita se encuentra muy extendida y con relativa frecuencia, principalmente en las inmediaciones del Pozo "N° 3". También se han recogido muestras, asociadas a mineralización de cobre, en la escombrera del Pozo Maestro, años después de que ésta fuese prácticamente desmantelada, seguramente para obtener áridos baratos para caminos y carreteras próximas. Se da la circunstancia de que el hallazgo de estas últimas muestras en dicha escombrera no garantiza su procedencia, dado que tratándose de un Grupo Minero, su escombrera más importante pudo dar cobijo a materiales de diferentes minas de la zona, aunque también cabe la posibilidad de que en la zona más superficial de la mina "San Rafael" apareciera la kasolita asociada al cobre y que se enviara a la escombrera en la primera época de explotación de la mina, quedando enterrada posteriormente por toneladas de material de escombrera hasta que ésta fue desmantelada y volvieron a salir a la luz.

Escombrera del pozo N°3

En esta pequeña escombrera, situada en las inmediaciones del Pozo "N° 3", y que no albergó materiales procedentes de otras minas, la kasolita aparece en forma de bellos grupos radiales o divergentes de cristales de color amarillo canario o amarillo limón, ocasionalmente anaranjados o parduzcos. Los cristales se presentan ocasionalmente en el hábito característico de la especie: cristales prismáticos cortos con la forma {001}

como predominante, aplanados, debido a la gran extensión de las caras de pinacoide basal (001), muy elongadas en la dirección del eje b y al escaso desarrollo de las caras de prisma. Así, los cristales muestran una característica forma de listón terminado en punta, con contorno hexagonal si se observa a lo largo del eje c, por la combinación de {110} con {100}. La forma {111} no se ha observado. Sin embargo, usualmente, en las muestras de esta escombrera, los cristales carecen de contorno hexagonal, debido a que las aristas entre las caras del pinacoide {100} y las caras de prisma se encuentran muy suavizadas, resultando una forma de ‘astilla’ característica. Estos cristales pueden ser muy finos, con la forma {100} vestigial, y presenta apilamientos de láminas según {001}. Los cristales presentan un fuerte estriado paralelo a la cara (001), siguiendo los planos de exfoliación. También se observan grupos radiales de cristales aciculares, que pueden ser fácilmente confundidos con uranofana. Sin embargo, ésta última no ha sido identificada hasta la fecha en las muestras estudiadas del yacimiento, en coherencia con lo expuesto en el párrafo anterior.



Figura 5: *kasolita observada in situ en la mina "San Rafael".*

Los grupos de cristales usualmente tienen tamaño inferior al milímetro, aunque ocasionalmente se observan en el rango 1-2 mm. Los grupos cristalinos se forman en pequeñas geodas y cavidades del cuarzo que forma el material del filón y son más frecuentes en las zonas de fractura y los contactos con el encajante granítico. También puede observarse en forma de pequeñas rosetas y costras terrosas de color amarillo, en especial en los bordes de cristales de galena disgregados y atacados, encajados en el cuarzo y como pequeñas masas amarillas incluidas en éste. Ocasionalmente se observa junto a willemita y, más raramente, junto a anglesita en huecos dejados por la galena alterada.

La caracterización analítica se ha realizado mediante SEM-EDS y microsonda electrónica EPMA. El espectro EDS, obtenido con un detector de Si(Li) INCA X-sight instalado en un equipo SEM JEOL 5600-LV a 20 KV, 80 μ A, 2 μ m de haz y 50 segundos de tiempo de conteo, muestra una composición elemental de 4.3% Si, 42.9%

U y 31.5% Pb en peso (oxígeno por estequiometría, calibrado previo con UO_3) para la kasolita de mina San Rafael. En análisis EPMA, realizado con un equipo CAMECA-SX50 en condiciones estándar de 15 KV y 10 mA (se realizó un calibrado previo con U metálico), se obtiene una composición de 9.82% en SiO_2 , 38.6% en PbO y 51.55% en UO_3 para la kasolita. Se observa un 0.1 % en forma de CaO y no se observa hierro, componente habitual en la kasolita supergénica. Estas composiciones son coherentes con la descrita para kasolita, por lo que se considera identificada la especie en las muestras de la mina San Rafael.



Figura 6: Kasolita mostrando el hábito típico de la especie, en forma de tabletas terminadas en punta. Pozo N° 3. Encuadre 2 mm.

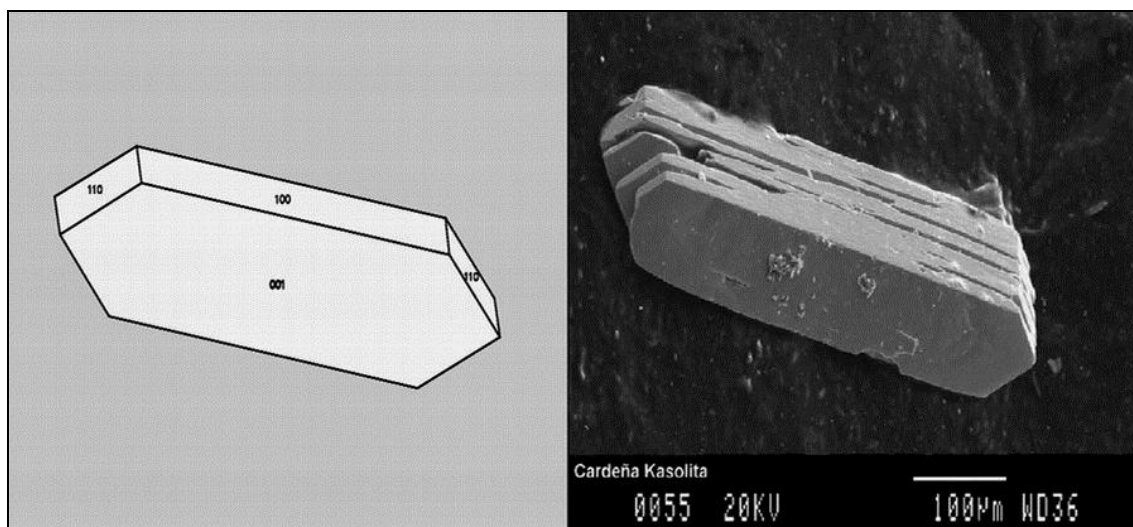


Figura 7: Imagen SEM (cristal recubierto de carbono) y cristal idealizado de la kasolita de la mina "San Rafael". Se observan las fracturas siguiendo los planos de exfoliación en $\{001\}$. El dibujo se ha orientado de forma no convencional para facilitar la comprensión de la imagen.

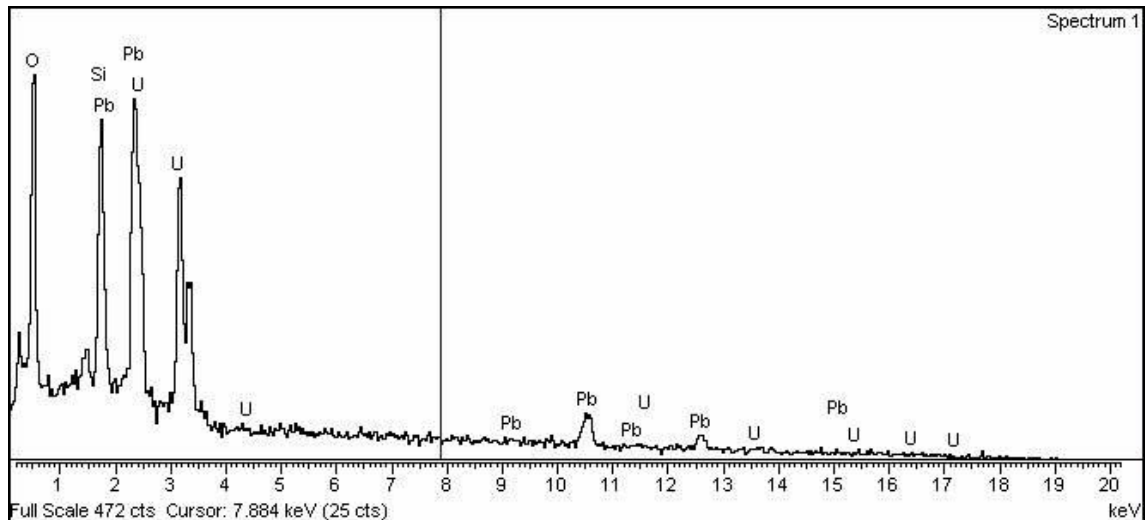


Figura 8: *Espectro EDS de la kasolita de mina "San Rafael".*

Respecto al origen de la kasolita, proponemos varios modelos, teniendo en cuenta que probablemente la intrusión y mineralización asociada al filón Zumajo es posterior en un período de aproximadamente 100 MA a todos los eventos magmáticos asociados con los plutones encajantes (García de Madinabeitia et al. 2003).



Figura 9: *Bellos grupos radiales de cristales de kasolita sobre cuarzo. Pozo N° 3. Encuadre: 2 mm.*

Un primer modelo es un proceso en dos fases, iniciado con el enriquecimiento primario en uranio en el material del filón Zumajo. Este enriquecimiento se produciría por la entrada en el fluido mineralizante tanto de plomo como de uranio debido a la liberación de éstos por la interacción fluido-roca a alta temperatura, dado que la roca encajante es granito, que puede constituir una fuente eficiente de uranio. Posteriormente, la fractura por tectonización del filón posibilitaría una segunda fase supergénica que oxidaría el uranio primario depositado en el filón, en un ambiente ácido rico en plomo y sílice, en

el que la fase uranífera más estable es la kasolita. El enriquecimiento en plomo radiogénico descrito para la galena del filón Zumajo podría apoyar esta hipótesis, aunque no se han observado indicios de uraninita o de silicatos de uranio primarios. Sin embargo, la asociación de la kasolita con la willemita en muchas muestras, procedente ésta última de la alteración supergénica de la esfalerita presente junto a galena en el filón, podría apoyar asimismo esta hipótesis.



Figura 10: Crecimiento de kasolita y cuarzo. Pozo N° 3. Encuadre 0.9 mm.

Por otro lado, es posible que el aporte de plomo al filón Zumajo provenga de mineralizaciones previas, removilizadas en la intrusión tardía. Así, otro posible origen, relacionado, pudiera ser la formación coetánea de la kasolita en el filón, debida a la movilización del uranio presente en el encajante granítico durante la entrada del fluido mineralizante, rico en sílice y plomo, seguida de la precipitación de la kasolita. Así, la formación de esta kasolita hidrotermal es coherente con sus características: su hábito más frecuente, en cristales muy finos, aciculares o con el contorno característico de la especie muy suavizado, que indica cristalización a mayor concentración o mayor temperatura; su pureza química es notable; aparece en cristales en pequeños huecos y geodas de cuarzo, asociada a cristales de cuarzo y no se asocia con otras especies uraníferas ni con otras especies secundarias de plomo, en especial carbonato, ni óxidos de hierro o con fluorita. Éstas podrían ser indicativas de procesos de alteración supergénica, con movilización de U(VI) en forma de complejos carbonatados o fluorados formados mediante ataque del granito por aguas meteóricas y la lixiviación del uranio contenido en sedimentos superficiales y posterior precipitación por alteración del filón, rico en plomo y ácido silícico (Dawood et al. 2010). Sin embargo, la formación coetánea de la kasolita en el filón indicaría condiciones oxidantes del fluido mineralizante, algo que no se puede corroborar únicamente con las observaciones realizadas en las muestras de kasolita. No obstante, la presencia de willemita junto a kasolita en varias muestras podría interpretarse como un apoyo a esta hipótesis, dado que la willemita puede formarse a partir de fluidos hidrotermales a temperaturas entre

100 y 250°C (a las que la kasolita es una fase estable) y condiciones oxidantes (Schneider et al. 2008). Así, ambos silicatos se habrían formado por un mecanismo similar, en una última fase hidrotermal de formación del filón Zumajo a partir de un fluido ácido, cargado en sílice.



Figura 11: Ocasionalmente, como en esta figura, la kasolita aparece en forma de grupos de cristales aciculares finos que pueden confundirse fácilmente con uranofana. Sin embargo, hasta la fecha no hemos identificado la especie en el material de la mina San Rafael.

No obstante, la posibilidad de que la kasolita fuera de formación supergénica y que el uranio fuera un aporte posterior al filón, debido a la descomposición del granito encajante, no puede ser descartada, migrando el uranio en forma oxidada a través de las fracturas del filón y desarrollándose en huecos del cuarzo del filón. Actualmente se encuentra en estudio detallado la mineralogía del Filón Zumajo, de modo que puedan confirmarse éstas hipótesis.

Escombrera del Pozo Maestro

En los ejemplares de esta escombrera la kasolita se encuentra asociada a malaquita y a cerusita en los huecos de un cuarzo oqueroso que contiene también masas centimétricas de una mezcla de calcosina y djurleita. Estos son sulfuros de cobre secundarios, que podrían ser indicativos de una fase hidrotermal tardía, en coherencia con la hipótesis hidrotermal para la génesis de la kasolita/willemita expuesta en el párrafo anterior.

Aparece como cristales bien formados, de color amarillo canario intenso, con un cierto tono ocre en el caso de los mayores, brillantes, y que pueden tener un tamaño desde unas décimas de milímetro hasta varios milímetros. La morfología es sencilla, y la habitual para este mineral, descrita en el apartado anterior.

En algunos ejemplares, los cristales más pequeños recubren completamente las paredes de huecos formados por la desaparición de otro mineral, posiblemente galena.

Los cristales más grandes aparecen casi siempre incompletos, al haberse desarrollado a lo largo de fisuras estrechas, contactando con ambas paredes. En los cristales grandes, tanto en los que han crecido libremente como en los que lo han hecho en forma parcial, se observa un curioso fenómeno de fractura según el plano de exfoliación perfecta (001), que hace que los cristales estén formados por un “apilamiento” de láminas.

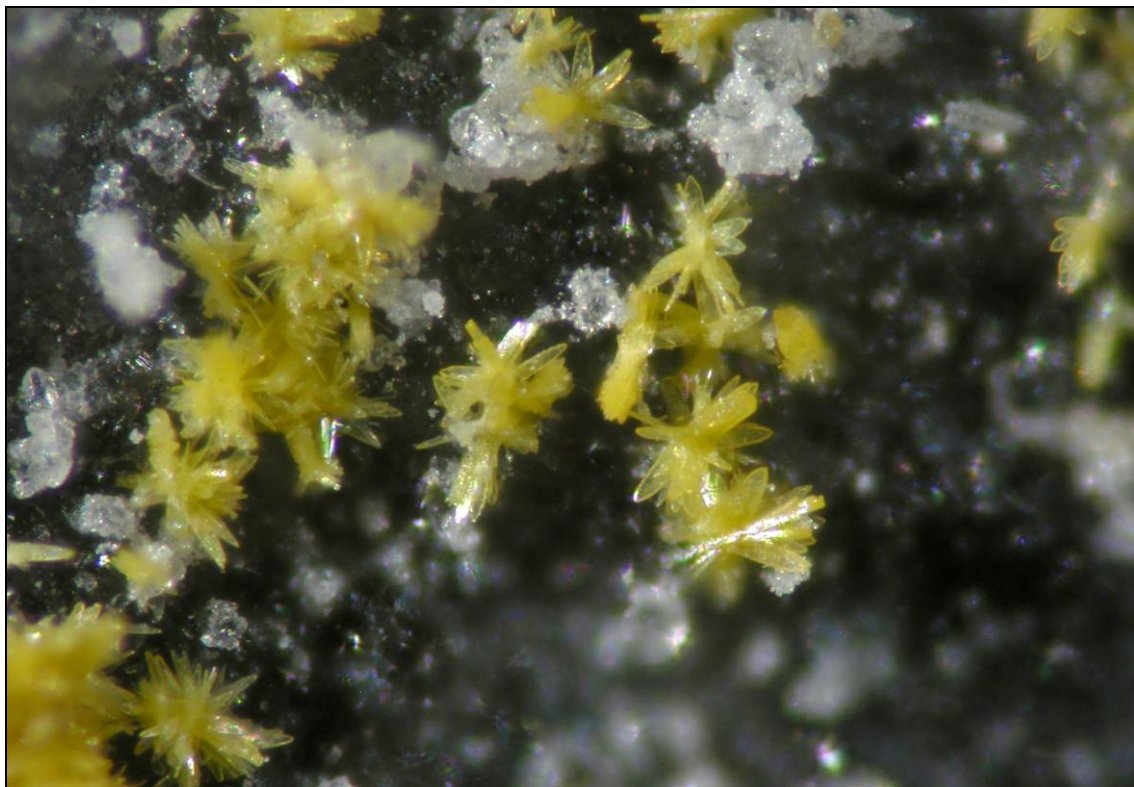


Figura 12: Crecimientos de kasolita con cuarzo. Pozo Nº 3. Encuadre 1 mm.

AGRADECIMIENTOS:

Al Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) donde se ha realizado el estudio analítico. A **Francisco José Montero Caballero**, Jefe de la Litoteca del IGME en Peñarroya, por habernos localizado y facilitado los estudios del Instituto Geológico y de ADARO en la zona del Filón Zumajo, que han resultado un pilar fundamental en esta publicación. A **Fernando J. Palero Fernández**, por sus valiosas orientaciones, así como por los informes inéditos que nos permitió consultar. A **Francisco Javier Costa Ripoll** y **Carlos Utrera Martín** por su desinteresado aporte de muestras para análisis y a **Antonio Barrena Mateo**, por su ayuda en la localización de muestras de kasolita mediante dosímetro.

Nota: salvo especificación, la autoría de las fotografías pertenece a los autores del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- A. ARRIBAS (1967) Nuevos minerales españoles de uranio: la Kasolita. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **65**: 263-265.
- M. CARRACEDO, F.J. LARREA, J.I. GIL IBARGUCHI, L.A. ORTEGA (1994) El haz lineal filoniano granítico-adamellítico (riolítico), de dirección N120-130E asociado al batolito de Los Pedroches. *Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe*, **22**: 229-246.

- M. CARRACEDO, F.J. LARREA, A. ALONSO OLAZABAL, J.I. GIL IBARGUCHI (1997) Relación entre las intrusiones plutónicas y el complejo filoniano en el batolito de Los Pedroches (Macizo Ibérico, España): los diques como indicadores de ambientes paleotectónicos y paleoesfuerzos. *Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe*, **22**: 229-246.
- Y. H. DAWOOD, H.M. Harbi, H.H. Abd El-Naby (2010) Genesis of kasolite associated with aplite-pegmatite at Jabal Sayid, Hijaz region, Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences*, **37**: 1-9. doi: 10.1016/j.jseae.2009.05.007.
- G. DEFALQUE; D. DÉMAIFFE; P. DUMONT; PH. LALIEUX (1992) Le Batholite de "Los Pedroches" (Sierra Morena). Etudes Cartographique, Petrographique, Geochimique, geochronologique et metallogénique. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T, 115 (fascicule 1) , pp, 77-89. Junio, 1992.
- K. FEJFAROVÁ, M. DUŠEK, J. PLÁŠIL, J. CHEJKA B, J. SEJKORA, R. ŠKODA (2010) Reinvestigation of the crystal structure of kasolite, $Pb[(UO_2)(SiO_4)](H_2O)$, an important alteration product of uraninite, UO_{2+x} . *Journal of Nuclear Materials*, doi: 10.1016/j.jnucmat.2010.11.064.
- C. FRONDEL (1958) Systematic mineralogy of uranium and thorium. *Geological Survey Bulletin* **1064**: 315-319.
- B. GARCIA DE MADINABEITIA, J. SANTOS ZALDUEGUI, F.J. LARREA, M. CARRACEDO, J.I. IBARGUCHI (2002) Variaciones en la composición isotópica del Pb en galenas del área de Los Pedroches: diferencias entre los yacimientos de El Zumajo y Linares-La Carolina. *Geogaceta*, **32**: 31-34.
- B. GARCIA DE MADINABEITIA, J. SANTOS ZALDUEGUI, F.J. LARREA, M. CARRACEDO, J.I. IBARGUCHI (2003) Estudio de la composición isotópica del Pb en galenas del distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén, España). *Geogaceta*, **34**: 31-34.
- L. M. MARTÍN PARRA y J. MATAS (2011) La Andalucía Varisca. En *Cartografía de recursos minerales de Andalucía* (A. García-Cortés, Ed. ppal.), IGME-Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Madrid, 12-31.
- J. SCHNEIDER, M. BONI, C. LAUKAMP, T. BECHSTÄDT & V. PETZEL (2008) Willemite (Zn_2SiO_4) as a possible Rb-Sr geochronometer for dating nonsulfide Zn-Pb mineralization: Examples from the Otavi Mountainland (Namibia). *Ore Geology Reviews*, **33**: 152-167. doi: 10.1016/j.oregeorev.2006.05.012
- VV.AA. *Investigación de la Reserva Provisional del Batolito de Los Pedroches*. Tomo 4: Estimación del potencial minero de áreas. Pb. Zumajo. (Anexos). ENADIMSA, 1979.