

Hulsita y schoenfliesita en el Morro Viñas, San Pablo de los Montes, Toledo

Ramón JIMÉNEZ MARTÍNEZ (Museo Geominero, IGME; Madrid)

José GONZÁLEZ DEL TÁNAGO (Fac. Ciencias Geológicas, Univ. Complutense; Madrid)

Rafael Pablo LOZANO FERNÁNDEZ (Museo Geominero, IGME; Madrid)

Jesús LÓPEZ JEREZ (Olías del Rey, Toledo)

ABSTRACT: During the updating work being carried out at the Geominero Museum, some outcrops with skarn type mineralizations have been visited, located in the municipality of San Pablo de los Montes, in the province of Toledo (Spain). Among these outcrops is a small copper mining site called “Morro Viñas”, where several mineral species of interest have been identified, including hulsite and schoenfliesite, two rare minerals that had not been previously described in the Iberian Peninsula. The presence of these minerals, together with other geological features observed, contribute to the fact that these outcrops are considered one of the main Sites of Geological Interest in the “Montes de Toledo”.

KEYWORDS: Hulsite, schoenfliesite, skarn, Geominero Museum, San Pablo de los Montes, Toledo.

Introducción

Durante los trabajos de actualización y revisión de las colecciones de minerales del Museo Geominero, se están visitando numerosos yacimientos con el fin de acopiar los ejemplares que permitan tener representados los distintos rasgos geológicos y mineros de cada zona de estudio y poder poner a disposición de las comunidades educativa y científica,

así como de todas las personas interesadas en los minerales y sus yacimientos, el patrimonio geológico mueble que constituye los fondos mineralógicos del museo.

Dentro de la actualización de la colección de Castilla-La Mancha, uno de los objetivos alcanzados fue localizar el yacimiento clásico de magnetita de San Pablo de los Montes (Toledo), ya que había aportado excelentes ejemplares a colecciones y museos en las primeras décadas del siglo XX, y sin embargo no se conocía, debido a que no existía una publicación explícita que recogiera dicha ubicación.

Se encontraron dos yacimientos de magnetita, asociados al contacto entre los granitos Tipo San Pablo y las Calizas de Los Navalucillos: el skarn con magnetita del arroyo Perales y un indicio minero de cobre localizado en el Morro Viñas.

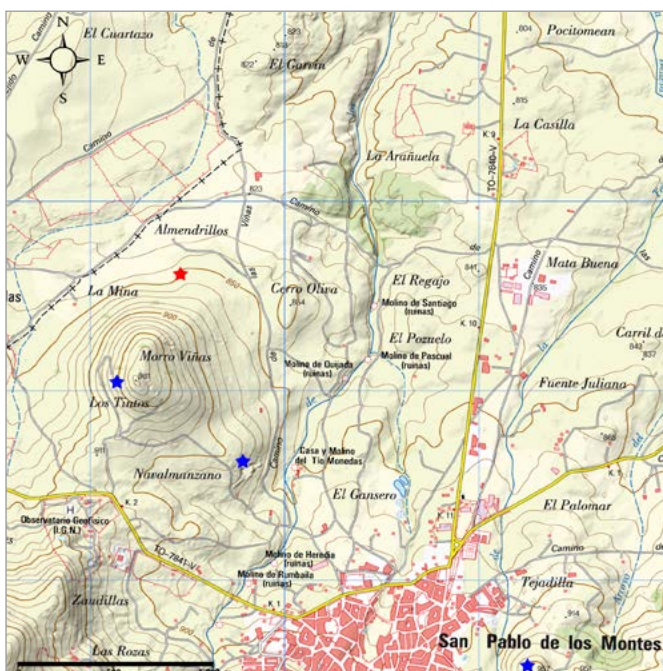
El objetivo de este trabajo consiste en la descripción de este indicio minero del Morro Viñas, poniendo especial atención en la caracterización de las especies minerales de interés presentes en el mismo.

En los pies de las figuras correspondientes a minerales hacemos constar el propietario, tanto de las fotos como de los ejemplares fotografiados, que es el Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El autor de dichas fotos es Ramón Jiménez Martínez.

El skarn del Morro Viñas, San Pablo de los Montes

En el entorno de San Pablo de los Montes se localiza una serie de «retazos aislados de rocas carbonatadas cámbricas flotando sobre los granitos»

Fig. 1. Principales explotaciones en San Pablo de los Montes. Resaltado en rojo, la mina “Garbin”; en azul, tres canteras de mármol. Mapa: R. Jiménez (fuente mapa base: web ign.es, BTN25 2006-2017, CC-BY 4.0).



(IGME, 2009), que han sido explotados en diferentes lugares (Fig. 1). Estos materiales están afectados por un metamorfismo de contacto y dan lugar a niveles calco-silicatados y depósitos metálicos de tipo *skarn*.

El mayor de estos retazos carbonatados se localiza en el Morro Viñas, que es un cerro aislado con una cota máxima de 981 m, situado a unos 2 km al NW de San Pablo de los Montes (Fig. 2).

Está constituido por una serie bandeada que buza 30-40° al NE y que intercala rocas pelíticas hacia la base (ENADIMSA-IGME, 2009).

Dentro de este afloramiento, concretamente en la falda norte del cerro, entre los parajes de La Mina y Almendrillos, se localiza un indicio de cobre con una mineralización de tipo *skarn*, donde se han identificado varias especies minerales de interés.

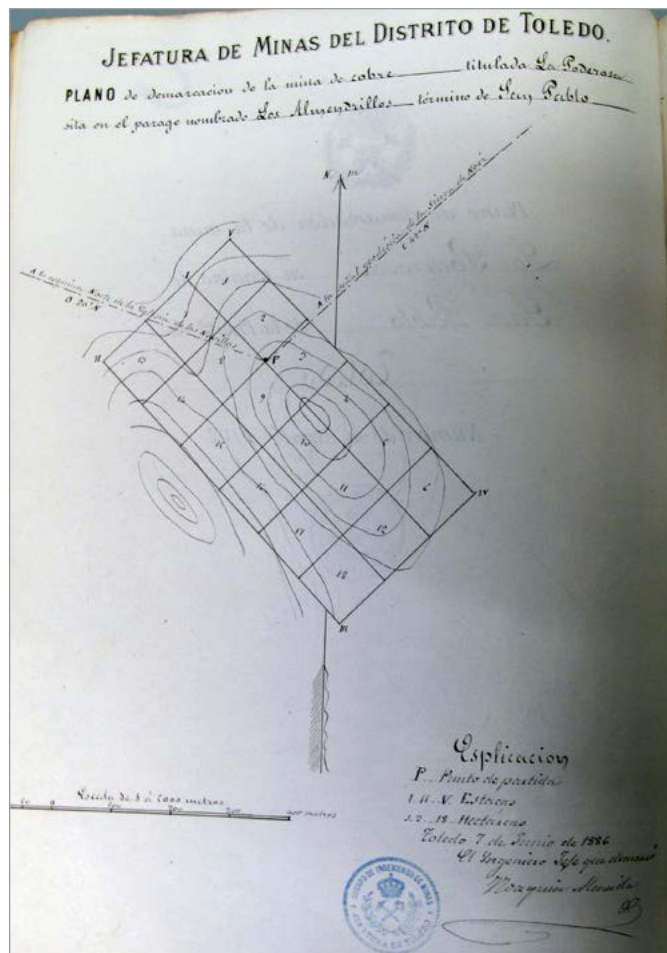
Antecedentes histórico-mineros del Morro Viñas

En el registro minero del Servicio de Minas de Toledo se conservan planos de demarcación de minas de cobre, para la zona del Morro Viñas, desde 1886. El más antiguo corresponde a la mina "La Poderosa" –nº exp. 2132– (Fig. 3), situado en el paraje denominado Almendrillos. En 1901 se realizaron dos registros en la zona: mina "Remedio" –nº exp. 2458– (Fig. 4) y mina "Consuelo" –nº exp. 2461– (Fig. 5), que caducaron en pocos años por débitos. En 1965 se demarca para cobre el permiso de investigación denominado "San Pablo", con nº exp. 3177 (Fig. 6), situado en el paraje Garvin, indicán-



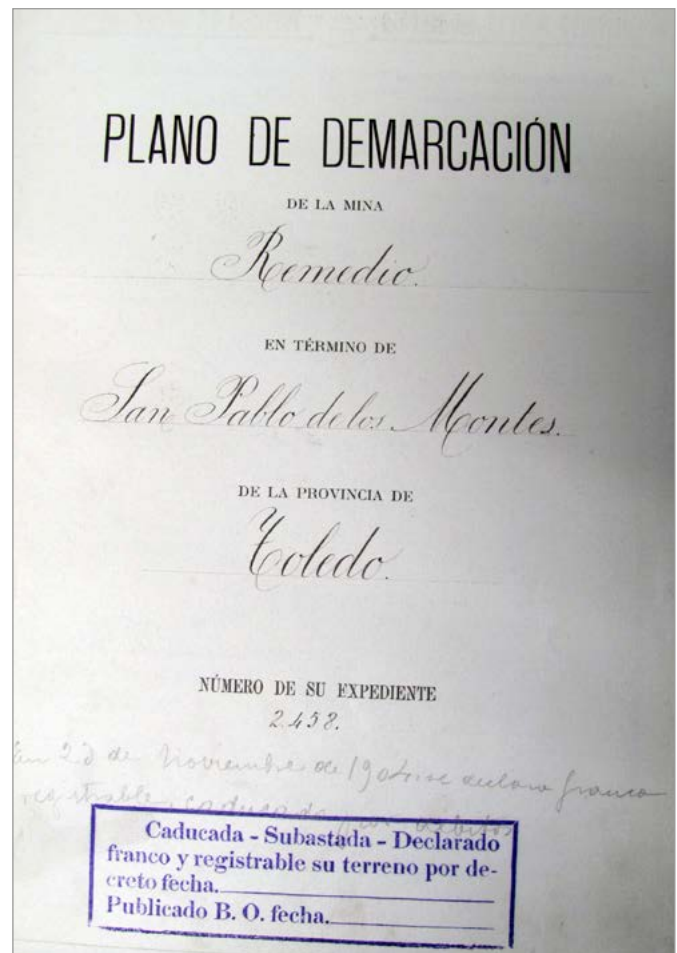
Fig. 2. San Pablo de los Montes y, en sus proximidades, el Morro Viñas. Foto: Ramón Jiménez Martínez.

Fig. 3. Plano de demarcación de la mina "La Poderosa". Fuente: Registro minero del Servicio de Minas de Toledo.



rosa" –nº exp. 2132– (Fig. 3), situado en el paraje denominado Almendrillos. En 1901 se realizaron dos registros en la zona: mina "Remedio" –nº exp. 2458– (Fig. 4) y mina "Consuelo" –nº exp. 2461– (Fig. 5), que caducaron en pocos años por débitos. En 1965 se demarca para cobre el permiso de investigación denominado "San Pablo", con nº exp. 3177 (Fig. 6), situado en el paraje Garvin, indicán-

Fig. 4. Plano de demarcación de la mina "Remedio". Fuente: Registro minero del Servicio de Minas de Toledo.



dose que el punto de partida de la demarcación se encuentra próximo a unas labores antiguas consistentes en dos pozos con asomos de carbonatos de cobre. Este indicio se corresponde con las labores descritas en este trabajo.

La presencia de «silicatos complejos y grosularia en las calizas, así como la existencia de escasas mineralizaciones metasomáticas y de magnetita», fueron ya indicadas en un estudio geológico de la zona de San Pablo de los Montes (San José Lancha, 1970).

En un informe del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para la investigación de minerales de plomo en el área de Mazarambroz, se indica que «próximo al contacto de las calizas paleozoicas con el granito, al norte del cerro Viñas, se observa en una calicata una fractura de dirección N70°W, armando en granito, con indicaciones de malaquita y azurita, sin que la mineralización afecte a las calizas» (IGME, 1971). Se analiza además una muestra cuyo contenido en metales es el siguiente: Cu (2,26 %), Ag (58 g/t), Pb (1,53 %), Au (no se aprecia).

También en el *Mapa Metalogenético de España*, hoja 53 (IGME, 1973), figura un pequeño indicio de

cobre localizado al NW de San Pablo de los Montes, del que no se aporta información mineralógica.

Se han localizado costras de carbonatos de cobre sobre fisuras en el granito en el paraje Almendrillos, algo más al norte del indicio estudiado, que podrían corresponder con lo indicado en el informe del IGME de 1971 y en el mapa metalogenético.

En un estudio geológico minero del área aurífera entre San Pablo de los Montes, Retuerta del Bullaque, El Molinillo y alrededores (Pineda Velasco, 1987), informe inédito, se señala la existencia de un indicio minero denominado “Mina Garbin”, sobre la superficie de demarcación del permiso de investigación “San Pablo”, que coincide con las labores descritas en este trabajo. En dicho informe se señala: «las labores son muy pequeñas y están cubiertas de matorral. Hay dos pequeñas excavaciones (unas 25 t cada una) alineadas en la dirección N90°E y separadas unos 50 m. El encajante carbonatado próximo tiene una orientación N80°E-40°S. Muy probablemente, por tanto, se trata de *skarns* en capas de potencia métrica».

En este estudio se tomó una muestra de varios kilogramos de la escombrera cuyo análisis arrojó la

Fig. 5. Plano de demarcación de la mina “Consuelo”. Fuente: Registro minero del Servicio de Minas de Toledo.

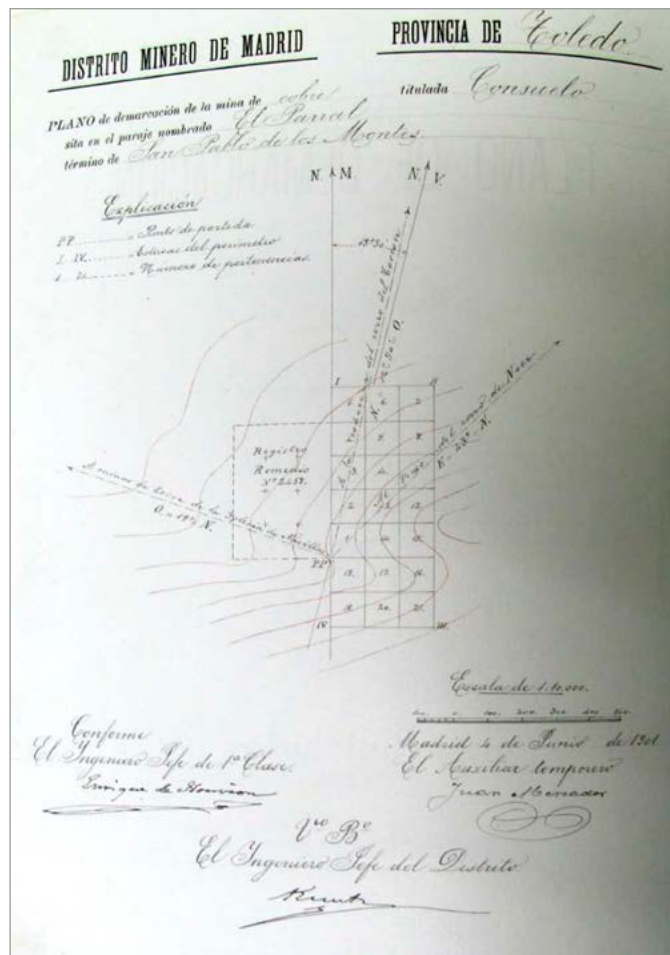
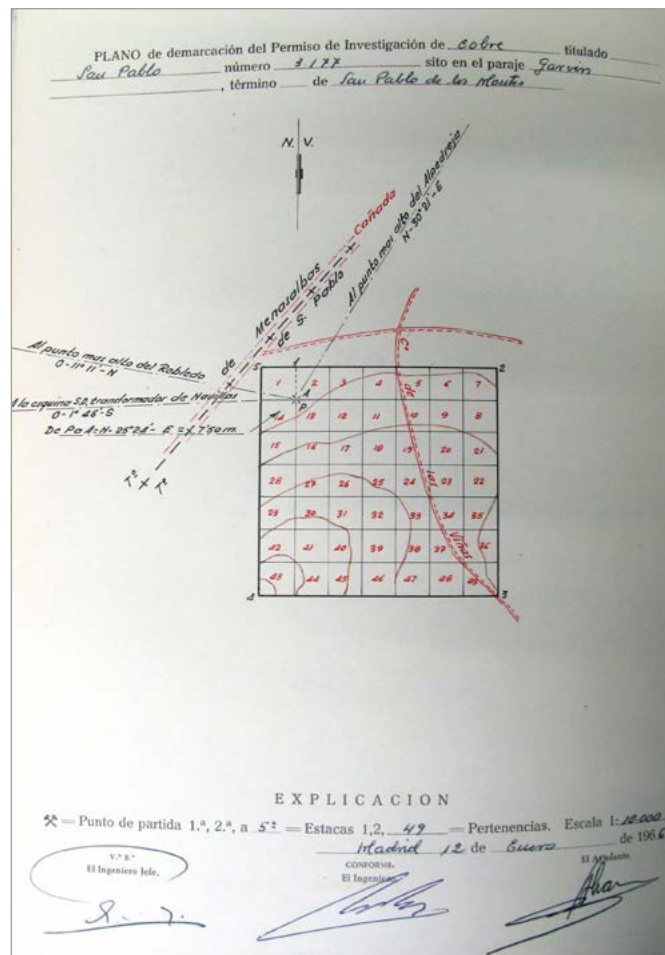


Fig. 6. Plano de demarcación del permiso de investigación “San Pablo”. Fuente: Registro minero del Servicio de Minas de Toledo.



siguiente concentración: Pb (0,03 %); Zn (0,27 %); Cu (1,35 %); Fe (7,80 %); Ag (49 g/t); Sn (1.600 g/t); WO₃ (180 g/t); Au (< 0,10 g/t); As y Sb (no detectados).

En el trabajo de Montero Ruiz *et al.* (1990), se señala que «la mina consiste en una galería horizontal, a cuya entrada se encuentra la escombrera que presenta numerosos restos de muestras de gran riqueza de cobre». Además, incluye 12 análisis mediante fluorescencia de rayos X, todos de minerales con alta concentración de Cu (entre el 63,55 y el 89 %), que además contienen significativas cantidades de Fe, Zn y Sn.

En la memoria del *Mapa Geológico de España* a escala 1:50.000, hoja 684 (Navahermosa), se remite al informe del IGME ya mencionado de 1971 y se señala que en la cartografía se prestó especial atención a las calizas cámbricas del Cerro de las Viñas, por la posibilidad de que ofrecieran mineralizaciones importantes de tipo *skarn*. Se observaron paragénesis de minerales interesantes (grosularia, diópsido, vesubianita, sulfuros de cobre, pirrotina, etc.), pero no en grandes cantidades (IGME, 2009).

Posteriormente, en 2011, López Jerez y Jiménez Martínez indican la existencia de una pequeña calicata en la ladera norte del Morro Viñas, concretamente en el paraje Almendrillos, en cuya escombrera quedan restos de una mineralización cuprífera con algunos minerales secundarios (malaquita, azurita, crisocola), que proceden de la alteración de la calcopirita, junto con magnetita masiva y bastante alterada y otros óxidos de hierro. Esta mineralización, de tipo *skarn*, está asociada a unos carbonatos con silicatos cálcicos: granate (andradita y grosularia) de tonos verdosos, diópsido y vesubianita (López-Jerez y Jiménez-Martínez, 2011).

Fig. 7. Calicata en el indicio minero del Morro Viñas. Foto: Ramón Jiménez Martínez.



Identificación de especies minerales

Para la caracterización de las especies minerales presentes en este yacimiento, por su complejidad, ha sido necesaria la utilización de varias técnicas analíticas.

Se ha utilizado la microscopía electrónica de barrido (MEB/SEM) para determinar los principales rasgos morfológicos de los cristales y también para obtener análisis semicuantitativos necesarios para confirmar la naturaleza de los cristales. Se ha empleado un microscopio JEOL 6400, dotado de un sistema de microanálisis por dispersión de energía (EDS), del Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid.

Tras obtener los análisis semicuantitativos (EDS) de la hulsita y minerales asociados, se realizaron análisis cuantitativos en una microsonda electrónica JEOL JXA-8900M con dispersión de longitud de onda, en el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid. Las condiciones para realizar los análisis cuantitativos de los elementos seleccionados fueron: voltaje de aceleración 15 Kv; corriente de sonda 20 nA; 10 s de medida en pico y 5 s en cada uno de los background. El diámetro de haz fue de 2 a 5 μm para minimizar en lo posible el daño en los puntos considerados. Los patrones utilizados fueron kaersutita (MgKα, CaKα), granate (MnKα, FeKα), albita (AlKα), sillimanita (SiKα), Cu metal (CuKα), Sn metal (SnLα), ilmenita (TiKα), borosilicato 3.3 sintético (BKα). Los resultados fueron procesados utilizando un programa ZAF *on line*.

La técnica base de caracterización ha sido la difracción de rayos X (DRX), mediante el método del polvo cristalino. La medida se ha realizado en un equipo XPERT PRO MPD de PANalytical: tubo de cobre (40 mA; 40 kV), monocromador de grafito y rendija automática. *Software* de captación de datos

Fig. 8. Magnetita rodeando cristales de vesubianita y andradita. Medidas: 2,5 x 2 x 2 cm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16184).

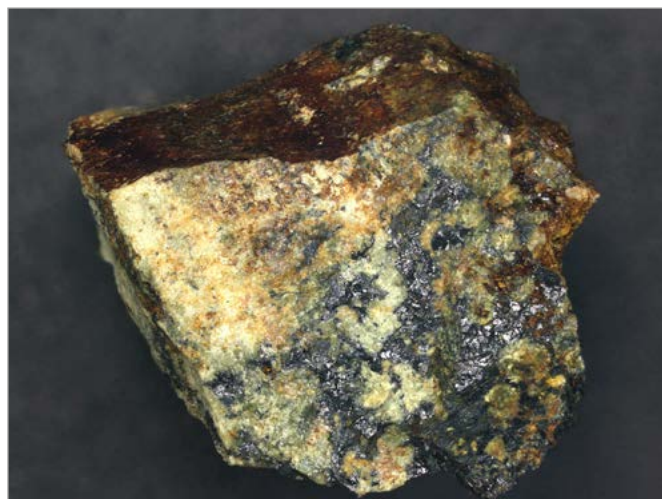




Fig. 9. Pintas metálicas milimétricas de calcopirita dispersa en matriz silicatada. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16166).

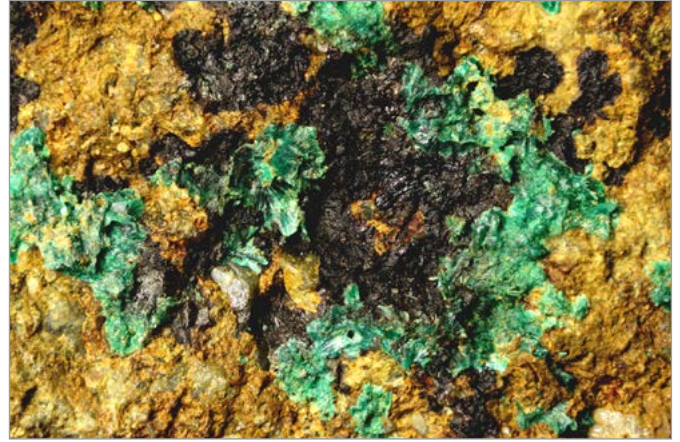


Fig. 10. Malaquita asociada a óxidos de manganeso. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17200).

X'Pert Data Collector 2.1.a (PANalytical). Para el análisis y posterior interpretación de los datos obtenidos se ha utilizado el *software* High Score versión 3.0.4 (PANalytical) y las bases de datos PDF-2 (ICDD) y COD January 2012. Cuando la muestra fue muy escasa, se procedió a microanálisis sobre portamuestra de "fondo cero" (silicio).

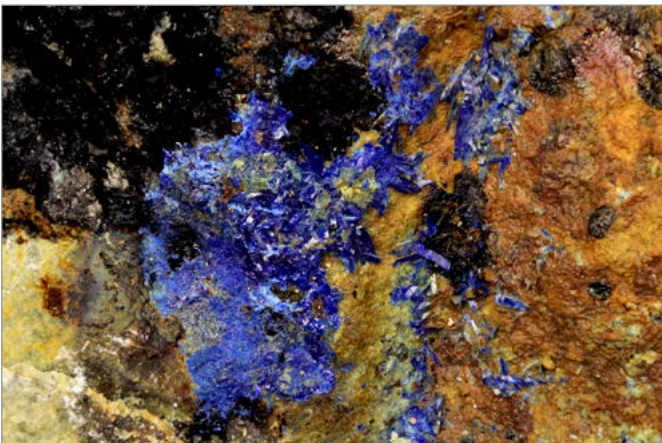
La confirmación de la presencia de boro en una muestra que contiene hulsita se realizó mediante Plasma ICP-AES, en un equipo Varian Vista MPX.

Estos últimos análisis se realizaron en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España en Tres Cantos (Madrid).

Mineralogía del indicio minero del Morro Viñas

Las labores son superficiales y permiten observar que se trata de un yacimiento metasomático, armando en materiales carbonáticos. Todos los trabajos mineros localizados son de pequeña extensión y se encuentran cubiertos por la vegetación.

Fig. 11. Cristales de azurita de hasta 2 mm rellenando una fractura. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17183).



Consisten en tres pequeñas calicatas: una zanja situada en la zona oeste del indicio, prácticamente carente de mineralización, y otras dos calicatas más próximas entre sí, a unos 50 m al este de la anterior (Fig. 7), en las que se han muestreado los minerales descritos a continuación. En los alrededores se pueden observar algunos acopios de mármol y de rocas del *skarn*.

La mineralización metálica está formada mayoritariamente por **magnetita** (Fig. 8) y **calcopirita** (Fig. 9). La **pirita** se encuentra ocasionalmente y suele estar parcialmente oxidada.

La **malaquita** se presenta en costras y en ocasiones como cristales prismáticos planos, distribuidos en forma radial (Fig. 10).

La **azurita** forma pequeñas costras que rellenan fracturas y suele presentarse en cristales milimétricos de hábito idiomorfo (Fig. 11).

La **crisocola** también forma costras, en este caso de aspecto vítreo. Presenta hábito botrioidal y color verde-azulado (Fig. 12).

Fig. 12. Crisocola de hábito botrioidal. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17185).

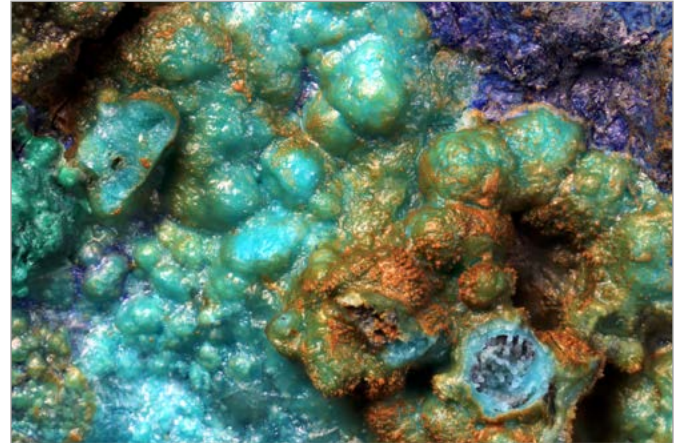




Fig. 13. Fluorita de hábito octaédrico. Cristal mayor de 1 mm de arista. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16178).



Fig. 14. Rombododecaedros de andradita. C.V. 35 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17179).

El contacto caliza-granito está formado por feldespatos + cuarzo + clorita y presenta una mayor alteración debida probablemente a una intensa circulación hidrotermal. En esta zona es frecuente la presencia de óxidos de hierro (goethita, hematites) y se han observado cristales milimétricos octaédricos de **fluorita** incolora (Fig. 13).

El principal componente de las Calizas de Los Navalucillos en la zona de la mina es la **calcita**, que, aun-

que recrystalizada, no presenta interés museístico. En cuanto a los silicatos con Ca o Ca y Mg presentes en la zona hemos identificado:

Granates: se han diferenciado dos tipos de granate, uno en la zona del indicio minero y otro en las canteras de mármol del Morro Viñas.

El primero es un granate de tonos verdes, y ocasionalmente pardos, cristalizado en rombododecaedros {110}, a veces ligeramente modificados

Fig. 15. Rombododecaedros de grosularia. C.V. 35 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 13345).



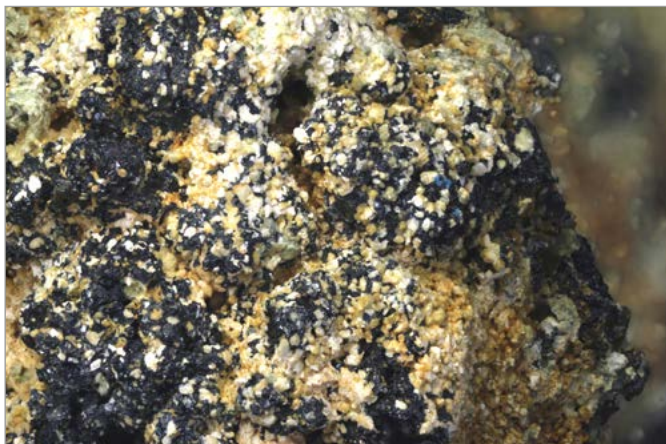


Fig. 16. Cristales milimétricos de diópsido sobre magnetita. C.V. 35 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17190).



Fig. 17. Cristal de vesubianita de 3 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17211).

por el trapezoedro {211}, que raramente superan el centímetro (Fig. 14). Es una **andradita** que presenta una concentración de SnO_2 entre el 1 y el 3,5 %. Suele estar en contacto con cuarzo, aunque puede llegar a constituir niveles de granata. Al fracturar rocas inalteradas ricas en cuarzo se pueden observar secciones hexagonales de cristales con buen color y brillo, pero en superficie se suelen presentar alterados.

En las canteras del Morro Viñas, el granate, más rico en el término **grosularia**, se presenta igualmente bien cristalizado en rombododecaedros de tonos pardos. Estos granates, en planos de estratificación y fractura, constituyen los minerales más resistentes que sobresalen de la matriz calcárea (Fig. 15).

Diópsido: constituye, junto con el granate y la vesubianita, uno de los componentes principales del *skarn* y suele mostrarse en pequeño tamaño de grano y tonos amarillentos. En ocasiones se han observado asociados a magnetita en cristales prismáticos blanquecinos y verde-amarillentos que

raramente superan los 3 mm de longitud (Fig. 16).

Vesubianita: normalmente verdosa, aunque también adquiere tonalidades pardas en zonas de metamorfismo de contacto, se presenta formando niveles centimétricos de agregados cristalinos de aspecto masivo, confundándose entonces con la andradita, cuando presentan ambas un color verde intenso. Excepcionalmente se muestra bien cristalizada, en pequeñas oquedades y rellenos de fracturas (Fig. 17). Las formas cristalinas son muy variadas, predominando el hábito prismático, aunque también se aprecian formas equidimensionales muy ricas en facetas (Figs. 18 y 19). Los prismas suelen estar estriados según la dirección de elongación y frecuentemente forman agregados radiados.

Wollastonita: se presenta como agregados de cristales formando masas de color blanquecino o grisáceo, en contacto con granate verde y vesubianita. El tamaño medio de los cristales está en torno a 3-4 mm, llegando a 2 cm en rellenos de fracturas (Fig. 20).

Fig. 18. Microfotografía SEM de cristales de vesubianita. Foto: Museo Geominero.

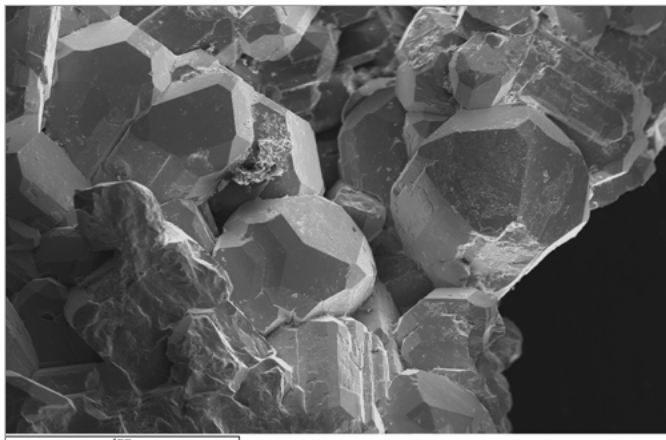


Fig. 19. Microfotografía SEM de un cristal de vesubianita rico en facetas. Foto: Museo Geominero.

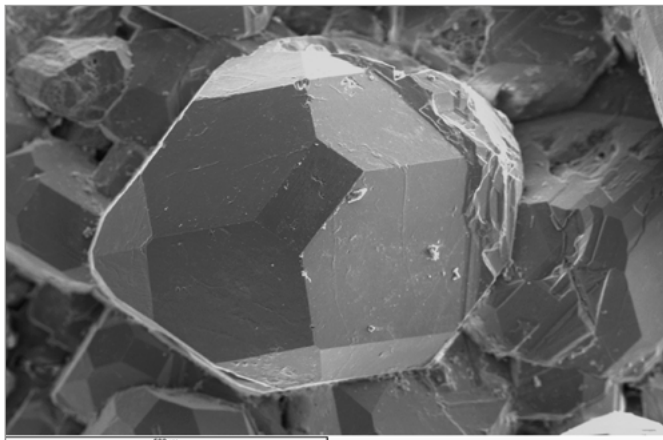




Fig. 20. Wollastonita asociada a cuarzo en fractura. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17219).

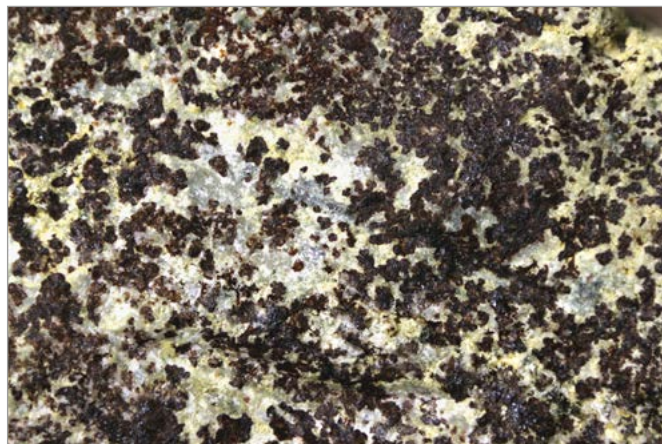


Fig. 21. Óxidos de manganeso relleno fractura. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17204).



Fig. 22. Costra de ópalo de hábito botrioidal. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17203).

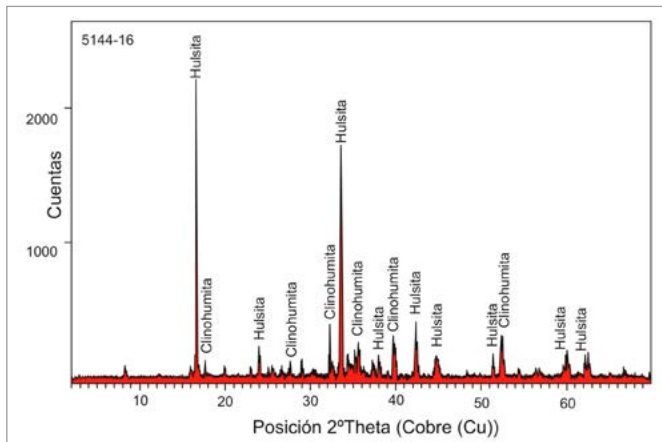


Fig. 23. Agregados en abanico de hulsita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17197).

Fig. 24. Cristales de hulsita creciendo en una cavidad de andradita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17195).



Fig. 25. Difractograma de hulsita + clinohumita. Fuente: Museo Geominero.



También se han observado otros minerales tapizando fracturas: óxidos de manganeso (Fig. 21), que adquieren hábito dendrítico, y ópalo botrioidal (Fig. 22).

Aunque no los hemos reconocido de visu, la difracción de Rayos X (DRX) muestra la presencia de **cuspidina**, **augita** y **clinohumita**.

Los minerales de mayor interés del yacimiento son la **hulsita** y la **schoenfliesita**, ya que se trata de especies muy raras, que hasta el momento no han sido descritas en la península Ibérica.

Hulsita, $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Sn}^{4+}, \text{Mg})(\text{BO}_3)\text{O}_2$

La hulsita se presenta como cristales de color negro, de brillo vítreo o submetálico; formando abanicos de cristales y agregados fibroso-radiados que llegan excepcionalmente a 2 cm de longitud (Fig. 23).

Aunque se han encontrado cristales tabulares o prismáticos de hulsita tapizando las paredes de pequeñas fracturas o cavidades (Fig. 24), lo más habitual es encontrarla en bandas compuestas por agregados de grano fino, junto a vesubianita, diópsido y magnetita. En algunos sectores de estas bandas, la hulsita está alterada a schoenfliesita.

	13	20	1	3	5	6	7	Promedio	(*)
B ₂ O ₃	14,98	14,2	13,79	13,81	15,49	14,6	16,12	14,71	12,98
MgO	20,87	18,81	16,99	17,23	17,41	17,29	17,23	17,98	10,45
Al ₂ O ₃	0,27	0,21	0,19	0,53	0,42	0,36	0,35	0,33	1,27
SiO ₂	<0,01	0,1	0,16	<0,01	0,25	0,23	0,03	0,11	n.a.
CaO	0,14	0,16	0,12	0,16	0,14	0,13	0,12	0,14	n.a.
TiO ₂	0,37	0,41	0,38	0,41	0,48	0,46	0,43	0,42	0,3
MnO	0,24	0,38	0,3	0,29	0,31	0,31	0,3	0,3	0,74
FeO	31,13	33,18	34,07	33,7	33,79	34,09	36,22	33,74	42,21
Fe ₂ O ₃	22,62	22,82	23,88	23,42	19,9	22,01	21,15	22,26	20,03
SnO ₂	11,27	10,97	9,06	9,41	8,86	9,01	9,33	9,7	12,03
Total	101,89	101,24	98,94	98,96	97,05	98,49	101,28	99,71	100
Cationes a 5 oxigenos									
B	0,98	0,95	0,95	0,95	1,06	1	1,06	0,99	1
Mg	1,18	1,09	1,01	1,02	1,03	1,02	0,98	1,05	0,65
Al	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06
Si	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	n.a.
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	n.a.
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	n.a.
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Fe ²⁺	0,99	1,08	1,14	1,12	1,12	1,13	1,16	1,1	1,47
Fe ³⁺	0,65	0,67	0,72	0,7	0,59	0,66	0,61	0,66	0,65
Sn ⁴⁺	0,17	0,17	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,2
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	3,98

Fig. 26. Análisis con microsonda electrónica (EPMA) de la hulsita de San Pablo de los Montes, Toledo. (*) Material tipo: Brooks Mountain, Alaska, EE.UU. (Konnert *et al.*, 1976). Fuente: Museo Geominero.

Fig. 27. Agregados en abanico de hulsita junto a vesubianita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16175).





Fig. 28. Hulsita asociada a diópsido y óxidos de hierro. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16196).

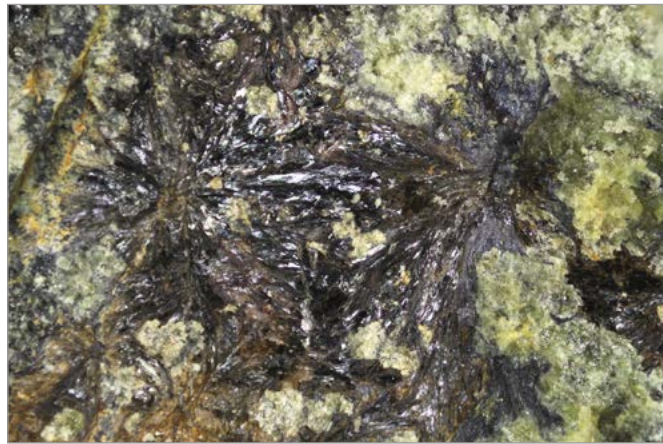


Fig. 29. Hulsita asociada a andradita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16198).



Fig. 30. Agregados en abanico y radiados de hulsita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 16199).

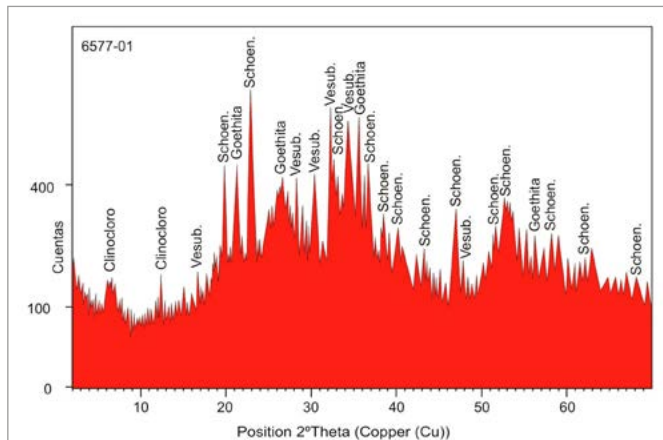


Fig. 31. Schoenfliesita pseudomorfizando parcialmente a hulsita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17208).

Fig. 32. Schoenfliesita pseudomorfa de hulsita con azurita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17205).



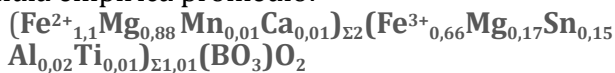
Fig. 33. Difractograma de schoenfliesita + goethita + vesubianita + clinocloro. Fuente: Museo Geominero.



La identificación de la especie se realizó mediante DRX (Fig. 25). Como se comentó anteriormente, la determinación del boro corrobora los datos de DRX. El contenido en boro de una muestra constituida principalmente por óxidos de hierro y hulsita es de 3.960 µg/g.

Posteriormente se obtuvo la composición química cuantitativa de la hulsita con una microsonda electrónica. En la tabla de la figura 26 se muestran los resultados analíticos representativos de varios cristales de hulsita, junto a los obtenidos por Konert *et al.* (1976) en ejemplares del monte Brooks, península de Seward, Alaska (EE.UU.). Para estimar las cantidades relativas de Fe²⁺ y Fe³⁺ se ha utilizado el balance de cargas (Droop, 1987), en base a 4 cationes y 5 oxígenos, para la obtención de su fórmula empírica.

Como se puede observar en dicha tabla, el mineral corresponde a una solución sólida de hulsita y magnesiohulsita, con ligero predominio de la primera. Se han encontrado pequeñas cantidades de Mn²⁺ y Ca que sustituirían al Fe²⁺, así como de Al y Ti situados en la posición del Fe³⁺. Los pequeños contenidos de silicio (hasta 0,25% en peso como óxido, con un promedio por debajo de 0,01 cationes por fórmula empírica) sustituirían al boro. Considerando todo ello se obtiene la siguiente fórmula empírica promedio:



En las figuras 27 a 30 se muestran fotos de otros ejemplares de hulsita.

Schoenfliesita, MgSn⁴⁺(OH)₆

La schoenfliesita se encuentra en zonas de alteración de la hulsita, a la que pseudomorfiza parcial (Fig. 31) e incluso totalmente (Fig. 32). Adquiere

tonalidades pardas y amarillentas y está íntimamente asociada a óxidos de hierro.

Al igual que la hulsita, la especie ha sido determinada mediante DRX (Fig. 33), donde se observa que está acompañada de goethita, vesubianita y clinocloro.

En los análisis químicos semicuantitativos (EDS), se obtienen concentraciones de SnO₂ compatibles con la especie, pero siempre presenta determinado grado de contaminación por impurezas de óxidos de Fe.

En las figuras 34 y 35 aparecen otras dos fotos con muestras de schoenfliesita.

Conclusiones

En el área de San Pablo de los Montes (Toledo), se localiza una serie de afloramientos de calizas cámblicas transformadas en mármoles por metamorfismo de contacto con el granito adyacente. Dentro de estos afloramientos es destacable el del Morro Viñas, en el que se encuentran mineralizaciones de tipo *skarn*.

En la falda NW del Morro Viñas se investigó el *skarn* en una pequeña mina de cobre que además presenta altas concentraciones de estaño y hierro. En sus escombreras se han identificado numerosos minerales, entre los que destacan la hulsita y la schoenfliesita, especies de extraordinaria rareza.

La presencia de hulsita y schoenfliesita constituye la primera ocurrencia contrastada en la península Ibérica. Por otra parte, la elevada diversidad mineralógica y la existencia de buenos afloramientos de tipo *skarn* entre las Calizas de Los Navalucillos y los granitos Tipo San Pablo, hacen que el Morro Viñas constituya uno de los principales Lugares de Interés Geológico de los Montes de Toledo.

Fig. 34. Schoenfliesita asociada a magnetita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17207).

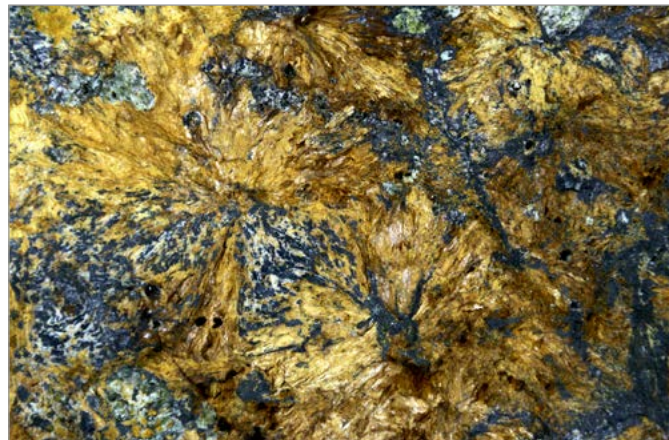
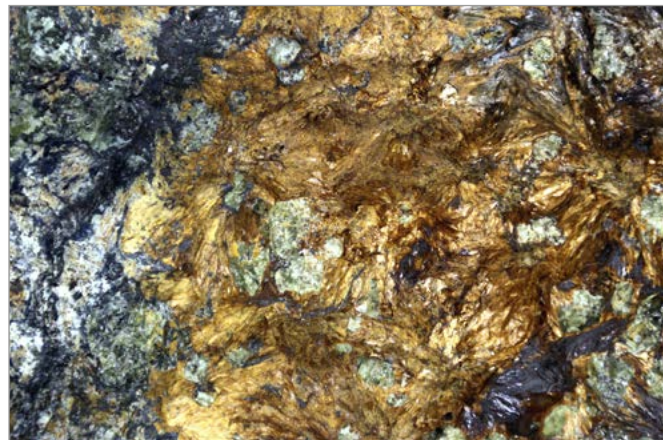


Fig. 35. Schoenfliesita asociada a vesubianita y rodeada de agregados de hulsita. C.V. 13 mm. Colección y foto: Museo Geominero (clave ejemplar: 17206).



Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la profesionalidad y atención prestada por Ana M^a Vicente Montaña y Alfredo Fernández Larios, del Centro Nacional de Microscopía Electrónica, y por Begoña del Moral González, de los laboratorios del IGME en Tres Cantos, ya que gracias a ellos el trabajo de caracterización resultó mucho más sencillo. También queremos agradecer a Pepa Torres y Ruth González su ayuda en la elaboración de figuras y gráficos, y a José Luis Garrido Rufaste su revisión crítica del original.

Referencias bibliográficas

- DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINERÍA. *Registro minero de la Sección Provincial de Minas de Toledo*. Planos de las concesiones antiguas de cobre en San Pablo de los Montes, años 1886, 1901 y 1965 (Inédito).
- DROOP, G.T.R. (1987). "A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria". *Mineralogical Magazine*, núm. 51, pp. 431-435.
- IGLESIAS, A., MARTÍN, D. Y GRACIA, J. [DIR. IGME] (2009). "Memoria y mapa geológico de la hoja núm. 684 (Navahermosa)". *Mapa Geológico de España 1:50.000*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- IGME (1971). *Fase previa para la investigación de minerales de plomo del área de Mazarambroz (Toledo)*, memoria y planos. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 140 pp. (+6 planos).
- IGME (1973). "Memoria de la hoja núm. 53 (Toledo)". *Mapa Metalogenético de España 1:200.000*. Madrid: Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. 21 pp.
- KONNERT, J.A. *et al.* (1976). "Crystal structure and cation distribution of hulsite, a tin-iron borate". *American Mineralogist*, núm. 61, pp. 116-122.
- LÓPEZ JEREZ, J. y JIMÉNEZ MARTÍNEZ, R. (2011). "El yacimiento de magnetita de San Pablo de los Montes, Toledo". *Revista de Minerales*, vol. IV, núm 6; pp. 10-18.
- MONTERO RUIZ, I., RODRÍGUEZ MONTERO, S. y ROJAS RODRÍGUEZ-MALO, J.M. (1990). *Arqueometalurgia de la Provincia de Toledo: Minería y recursos minerales de cobre*. Toledo: Excma. Diputación Provincial de Toledo, Servicio de Arqueología. 62 pp.
- PINEDA VELASCO, A. (1987). *Estudio geológico minero preliminar del área aurífera entre San Pablo de los Montes, Retuerta del Bullaque y El Molinillo (Toledo y Ciudad Real) y alrededores (Primera fase de reconocimiento del Permiso de Investigación "Cabrahigos")*. Inédito. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, Dirección General de Minas. 42 pp. (+1 plano).
- SAN JOSÉ LANCHA, M.A. (1970). "Nota preliminar sobre el estudio geológico de los alrededores de San Pablo de los Montes (Toledo)". *Cuadernos de Geología Ibérica*, vol. 1, pp. 335-343.

Ramón JIMÉNEZ MARTÍNEZ

Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España; Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

r.jimenez@igme.es

José GONZÁLEZ DEL TÁNAGO

Dept. Petrología y Geoquímica - Instituto de Geología Económica CSIC, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

tanago@ucm.es

Rafael Pablo LOZANO FERNÁNDEZ

Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España; Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

r.lozano@igme.es

Jesús LÓPEZ JEREZ

Urb. Los Pinos, 14, 45280 Olías del Rey (Toledo).

jelopezj@gmail.com