

# ACTUALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MINA “LA VIRGEN”, ANDÚJAR (JAÉN)

Borja Sáinz de Baranda Graf

## RESUMEN

*Durante los años en que la mina “La Virgen” (Andújar, Jaén) estuvo beneficiando sus menas de uranio fueron famosas las excelentes torbernitas que produjeron, posiblemente las mejores a nivel nacional en esa época. Sin embargo, investigaciones posteriores han puesto de manifiesto la presencia de otros minerales bien cristalizados que, aunque con tamaños milimétricos, constituyen excelentes muestras para la especie.*

## INTRODUCCIÓN

La mina de cobre y uranio denominada “La Virgen” se encuentra en el término municipal de Andújar (Jaén), a unos 3 km al norte del Santuario de la Virgen de La Cabeza (figura 1), siendo la más importante, aunque no la única, que benefició menas uraníferas en dicho municipio durante la segunda mitad del siglo XX. Otras minas de menor importancia fueron la mina “Navalasnó”, situada en el mismo filón que “La Virgen”, y la mina “Obejo”, cerca del río Yeguas, que junto con las minas de uranio explotadas en el término de Cardeña constituyen la “Zona Uranífera de Andújar” (López Cabello, 2019).

Mineralógicamente hablando, fue también la más

productiva. Partiendo de los estudios de Arribas (1963) y García García (1991), desgranaremos en este artículo los principales minerales que se encontraron en su interior y en las pequeñas escombreras que quedaron tras la “restauración” del año 1999, añadiendo nuestras propias observaciones y analíticas a lo citado por los autores mencionados.

## HISTORIA Y MINERÍA

A partir de los sondeos de investigación realizados por la Junta de Energía Nuclear (JEN) a mediados del siglo XX, se puso de manifiesto la presencia de un filón de cuarzo con elevadas leyes en uranio (0,11%) y cobre (5,3%) en la zona que nos ocupa, y en el año 1954 se inician las labores por parte de la JEN (para más información histórica sobre la minería del uranio en la “Zona Uranífera de Andújar” se recomienda la lectura del artículo firmado por Antonio López Cabello, 2019).

El sistema de explotación elegido fue mediante minería subterránea (figura 2), procediéndose a la apertura de un pozo maestro de 2,2 x 3,2 metros (García García, 1991). Con un avance de profundización de 1 metro al día de pozo totalmente terminado, se alcanzó finalmente el nivel 134, con serias dificultades por la abundante presencia de agua. La mina llegó a alcan-

Figura 1. Mapa de situación de la mina “La Virgen”, al norte del santuario de La Virgen de La Cabeza. Tomado de García García (1991).

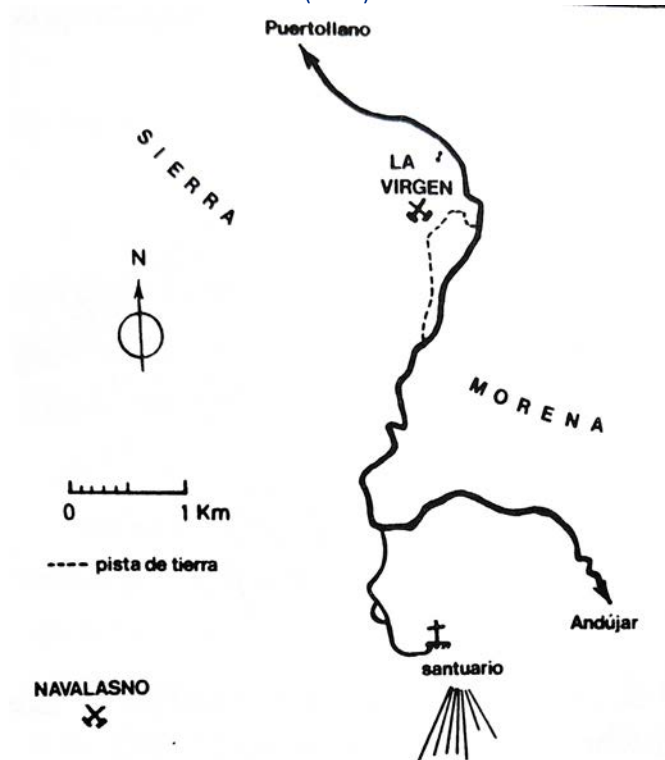
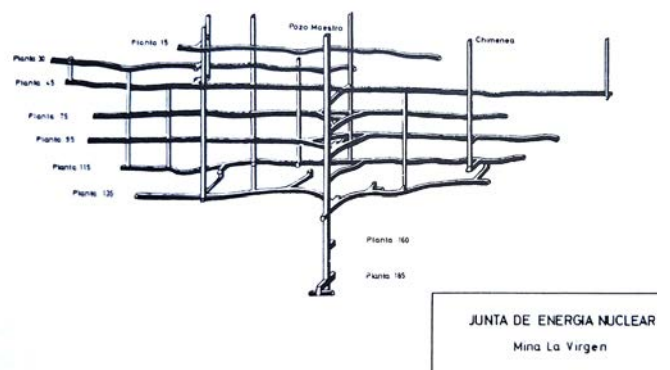


Figura 2. Distribución en alzado de los diferentes pozos y galerías de la mina “La Virgen”, tomado de García García (1991).



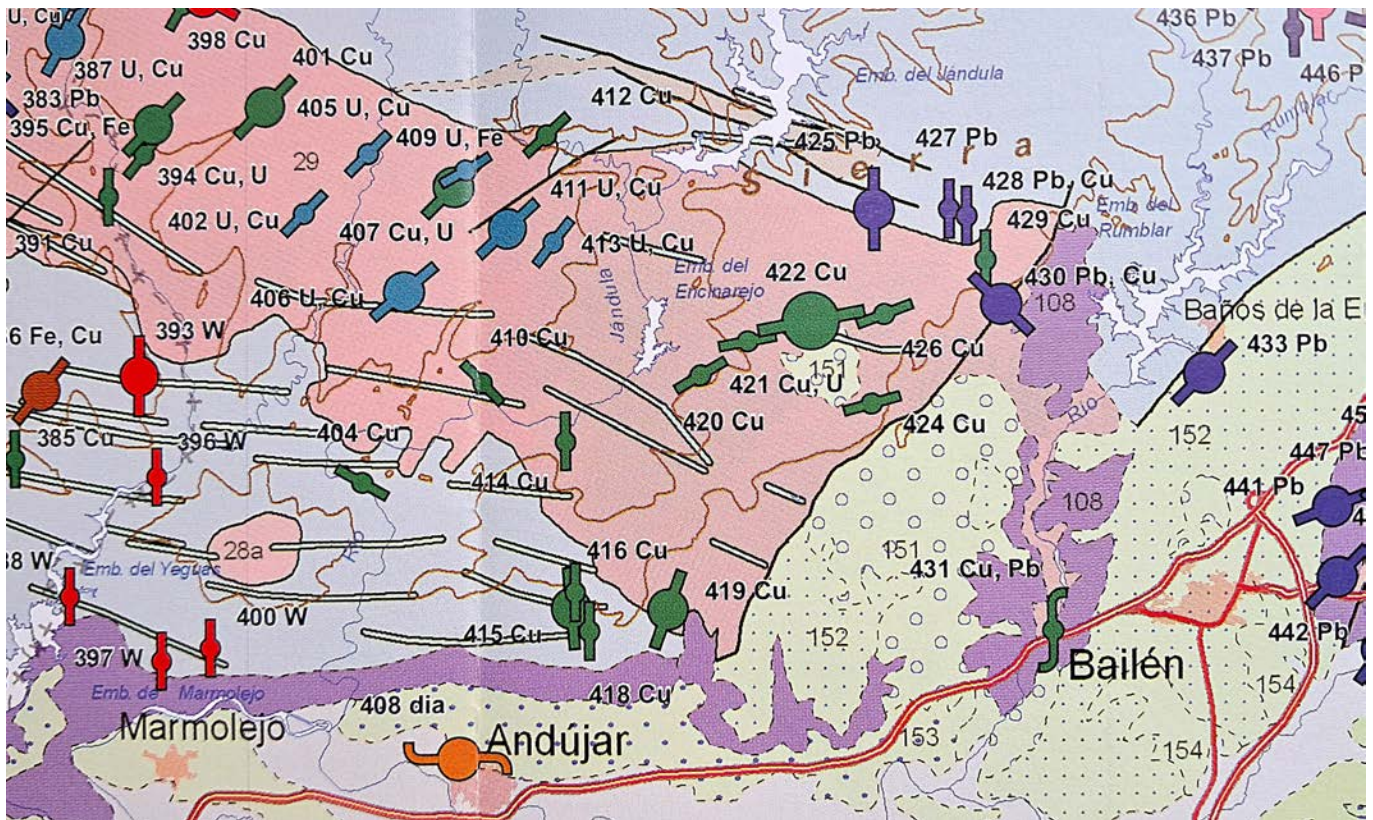


Figura 3. Esquema geológico y situación de las principales explotaciones mineras en el entorno de Andújar. La explotación minera (de carácter filoniano) con el número 411 corresponde a la mina "La Virgen", encajando directamente en los materiales graníticos del Batolito de Los Pedroches (en color rosa). Tomado del Mapa Metalogénico de Andalucía. Escala 1:400.000. Cartografía de Recursos Minerales de Andalucía, 2011.

zar los 185 metros de profundidad en el momento de su cierre definitivo, en 1967, con una producción total de más de 140.000 toneladas de mineral.

El mineral era tratado en la planta construida al efecto en el año 1959 en Andújar, con una capacidad de 200 tn de mineral por día, de la que se obtenían unas 50-60 toneladas de uranio al año, abastecida por las minas de Andújar, junto con las de Cáceres y Badajoz (Vázquez Guzmán, 1980), así como por las menas procedentes de las minas de uranio de los distritos cordobeses de Cardeña y Sierra Albarrana (López Cabello, 2019). Asimismo, también se obtuvieron varios miles de toneladas de cobre procedente de las minas cupro-uraníferas del sector de Andújar. La planta de tratamiento fue definitivamente cerrada en el año 1981, desmantelada y restaurada por ENRESA entre 1991 y 1994.

## GEOLOGÍA

El Batolito de Los Pedroches se sitúa en el sur de la Zona Centro-Ibérica. Su emplazamiento en las fases finales (distensivas) de la orogenia Varisca, está básicamente controlado por una zona de cizalla subvertical de escala cortical, en un régimen transtensional. Posiblemente se formó en varios pulsos de cristalización fraccionada de la cámara magmática, con la formación inicialmente de rocas de afinidad granodiorí-

tica y posteriormente por granitos adamellíticos.

A su vez, el Batolito se encuentra intruido por una amplia red de diques formados durante dos pulsos magmáticos diferentes: el primero, de dirección N-S, que destaca por la gran variedad, composicional de las litologías que lo integran (tranquiandesitas, traquitas, dacitas y lamprófidos), y el segundo, más tardío, de orientación N120-130°E, más homogéneo composicionalmente (riolitas) pero de gran diversidad textural y mineralógica.

El filón uranífero de "La Virgen" arma en el granito-adamellita del Batolito de Los Pedroches (figura 3). Tiene una dirección dominante N-60°E, con una potencia media de 2,5 metros, siendo la extremidad septentrional del llamado "Filón 22", el más importante y mejor definido de todos los filones del sector oriental del Batolito (Arribas, 1963). Su emplazamiento coincide con una zona muy tectonizada del granito, produciendo en la roca de caja una fuerte alteración hidrotermal (cloritización, sericitación y hematitización).

Según el citado autor, los minerales primarios de uranio son uraninita y coffinita, que aparecen únicamente a partir del nivel 115. Se encuentran acompañados por pirita, calcopirita, marcasita, cobres grises, fluorita y carbonatos (calcita, fundamentalmente, junto con dolomita y siderita). Esta mineralización, de tipo epitermal, se depositó en varios episodios su-



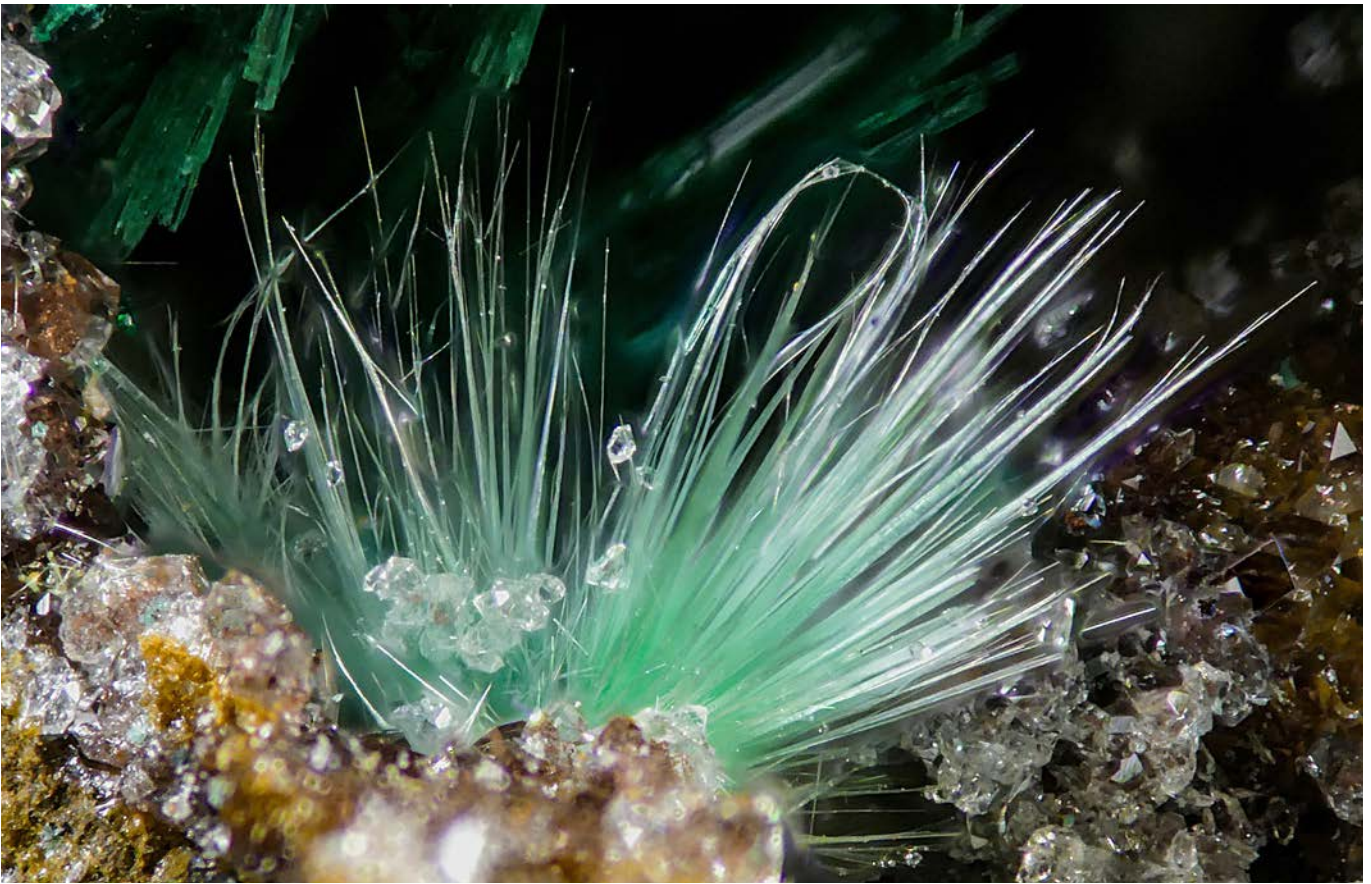


Figura 8. Agardita-(Ce) en forma de cristales aciculares "pinchando" pequeños cristales de cuarzo, asociados con cristales de malaquita de un color verde más intenso. 3 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

### Barita, $BaSO_4$

La barita es un mineral común en las cavidades de los jaspes que se encuentran con abundancia en las escombreras de la mina. Puede desarrollar cristales tabulares muy perfectos, de hasta 5 mm de lado, y a menudo, con un color melado muy característico (figura 9), aunque lo más frecuente es que se encuentre como cristales incoloros (figuras 10 y 11),

Figura 9. Cristal tabular de barita de color amarillo, de 4 mm de lado. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



blanquecinos o ligeramente amarillentos. Constituyen excelentes micromounts.

### Brochantita, $Cu_4(SO_4)(OH)_6$

La brochantita es un mineral secundario tardío, que se encuentra como diminutos grupos cristalinos salpicando las superficies del gossan limonítico y jaspeoide. Suele encontrarse asociado a la barita y cuprita,

Figura 10. Cristales incoloros de barita de hasta 2 mm, muy facetados, sobre cuarzo. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.





Figura 11. Pequeño cristal de barita transparente con inclusiones de cuarzo. FOV 1 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



Figura 12. Grupos de cristales de cacosenita en disposición radial. FOV 6 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

sin presentar gran interés mineralógico.

**Cacosenita,  $Fe^{3+}_{24}AlO_6(PO_4)_{17}(OH)_{12} \cdot 75H_2O$**

El cacoxeno o cacosenita se encuentra en forma de típicos agregados de cristales aciculares y disposición radial, de color amarillo pajizo (figura 12). Es un mineral poco frecuente en estas minas, y se encuentra asociado raramente a strengita y torbernita. Se identificó tentativamente por García García (1991) mediante análisis semicuantitativo SEM-EDS, y ha sido confirmado para este trabajo mediante espectrometría Raman. Los grupos de cristales resaltan fuertemente sobre la matriz cuarcítica, constituyendo ejemplares de gran belleza.

**Calcantita,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$**

Se encontraba recubriendo las paredes de las gale-

Figura 13. Grupo de cristales de calcosiderita de color verde, muy pura (sin trazas de aluminio), 8 mm FOV. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



rías, junto con melanterita (Arribas, 1963). Es un mineral de neoformación frecuente en las escombreras.

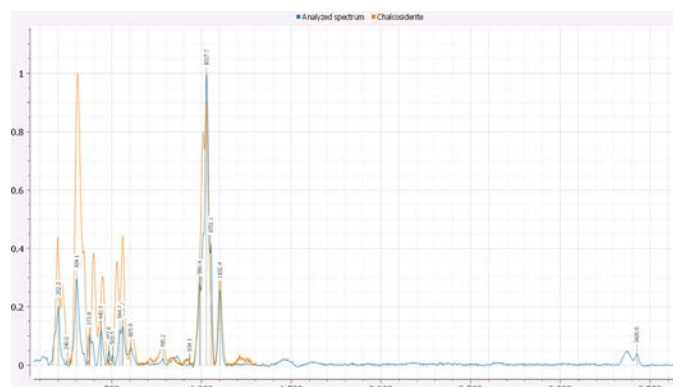
**Calcosiderita,  $CuFe^{3+}_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$**

La calcosiderita se encuentra raramente en los jaspes del gossan como cristales idiomorfos de aspecto pseudoctaédrico y color verde, de hasta 2 mm de tamaño (figura 13). Se encuentra asociado con la strengita, la torbernita y la kidwellita. Los análisis semicuantitativos SEM-EDS realizados ponen de manifiesto la ausencia total de aluminio (figura 14), lo que pone en duda las citas anteriores de posible turquesa en esta mina. El espectro Raman concuerda perfectamente con el de calcosiderita de la base de datos de RRUFF (figura 15).

**Calcosina,  $Cu_2S$  y calcopirita,  $CuFeS_2$**

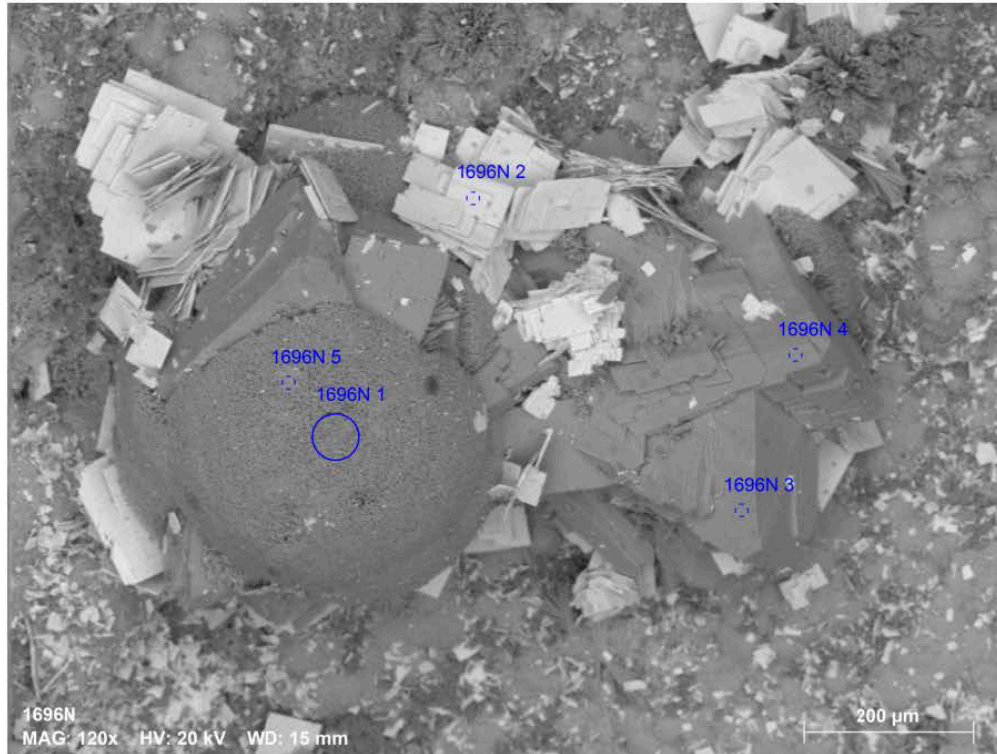
Según Arribas (1963), la calcosina era muy abundante en el filón, acompañada de bornita y calcopirita. En las escombreras la hemos identificado sustituyendo a la calcopirita, siendo más abundante que ésta.

Figura 15. Espectro Raman de la calcosiderita de la mina "La Virgen" comparado con el espectro de la base de datos de RRUFF.



# Application Note

Company / Department



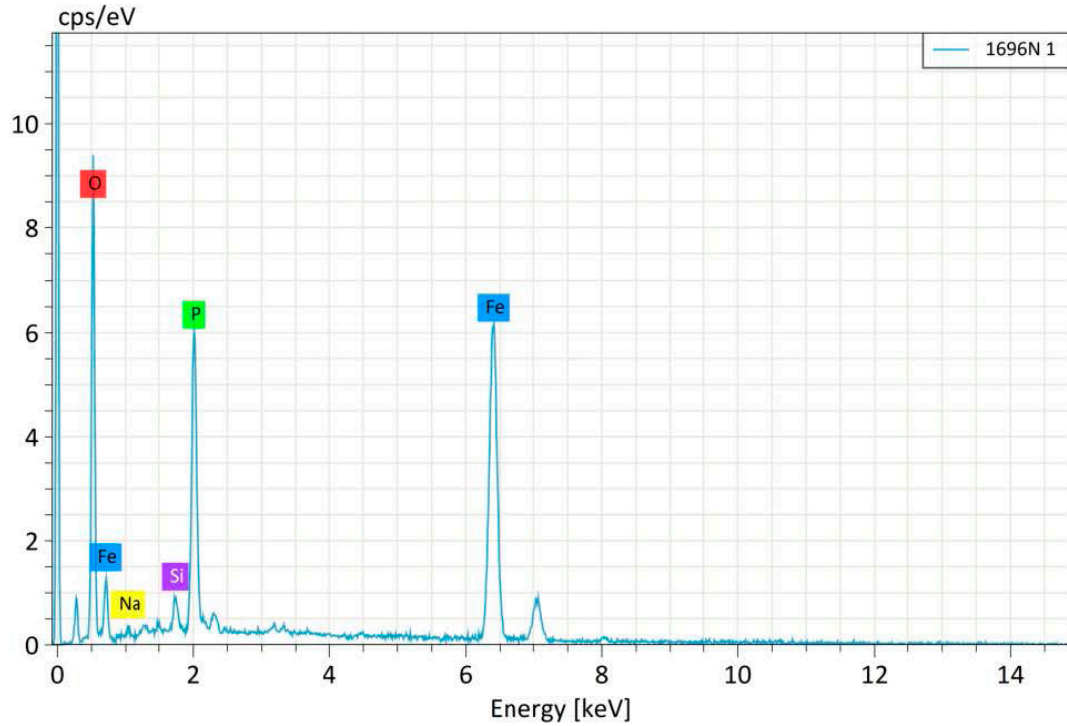
Atomic concentration [%]

Spectrum	O	Na	Si	P	Fe	Cu	As	U
1696N 1	59,21	1,17	1,24	12,14	26,24			
1696N 2	76,68			7,64	4,16	4,26		7,27
1696N 3	72,25			5,52	20,68	1,54		
1696N 4	74,76			9,00	13,98	2,26		
1696N 5	69,16			5,53	24,74		0,57	
Mean	<b>70,41</b>	<b>1,17</b>	<b>1,24</b>	<b>7,97</b>	<b>17,96</b>	<b>2,69</b>	<b>0,57</b>	<b>7,27</b>
Sigma	<b>6,87</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2,76</b>	<b>9,06</b>	<b>1,41</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
SigmaMean	<b>3,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,23</b>	<b>4,05</b>	<b>0,63</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Figura 14-1. Resultados de los análisis SEM-EDS de una esfera de kidwellita (punto 1696n-1) asociada con calcosiderita (puntos 1696n-3 y 4) y torbernita ferrífera (punto 1696n-2). Los valores de la tabla están en % atómico.

# Application Note

Company / Department

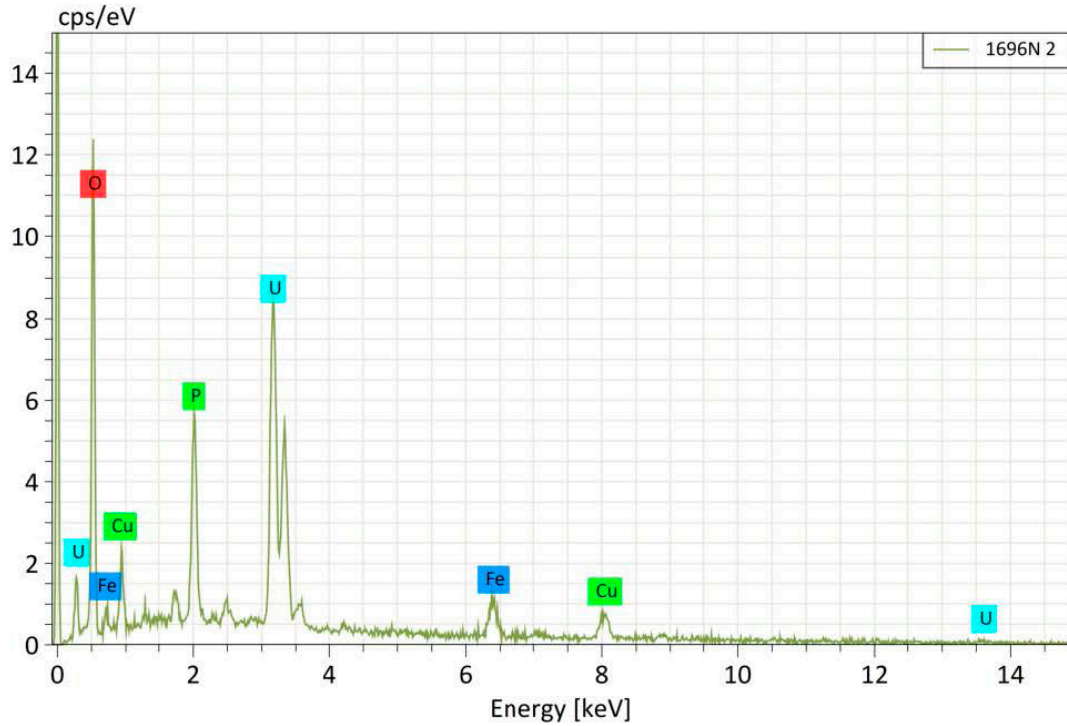


1696N 1

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	33,23	59,21	4,11
Na	K-Serie	0,95	1,17	0,15
Si	K-Serie	1,22	1,24	0,10
P	K-Serie	13,19	12,14	0,48
Fe	K-Serie	51,41	26,24	1,21
		100,00	100,00	

Figura 14-2. Resultados de los análisis SEM-EDS de una esfera de kidwellita (punto 1696n-1) asociada con calcosiderita (puntos 1696n-3 y 4) y torbernita ferrífera (punto 1696n-2). Los valores de la tabla están en % atómico.

**Application Note**  
Company / Department



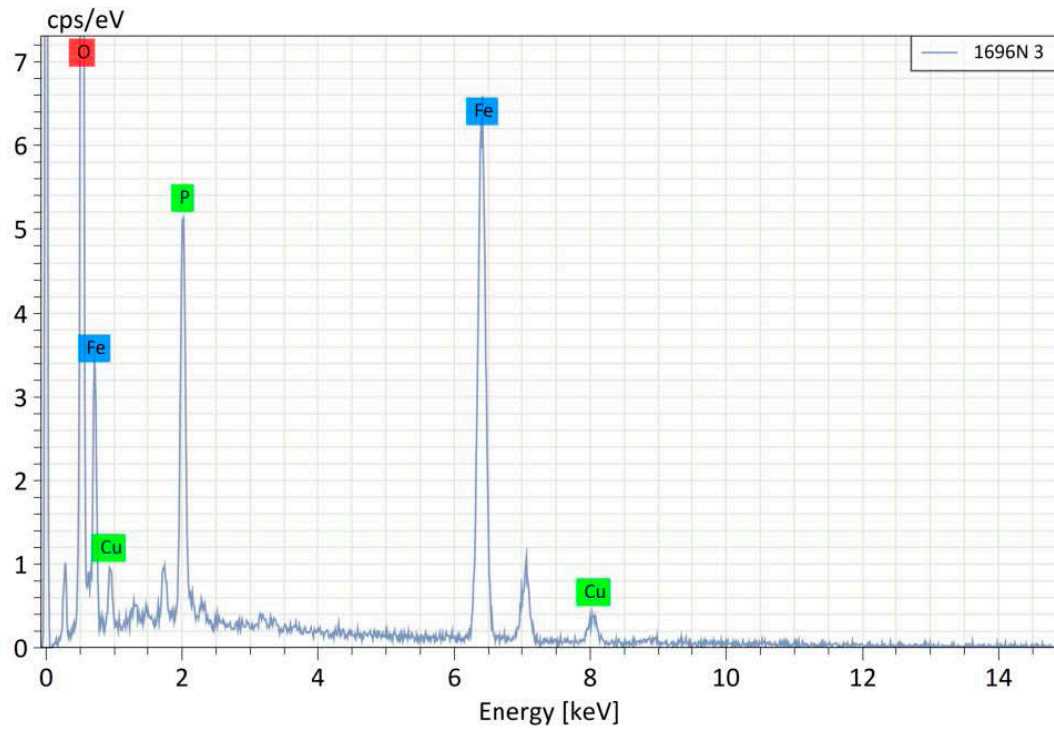
1696N 2

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	33,19	76,68	4,77
P	K-Serie	6,40	7,64	0,29
Fe	K-Serie	6,28	4,16	0,31
Cu	K-Serie	7,32	4,26	0,39
U	M-Serie	46,80	7,27	1,40
		100,00	100,00	

Figura 14-3. Resultados de los análisis SEM-EDS de una esfera de kidwellita (punto 1696n-1) asociada con calcosiderita (puntos 1696n-3 y 4) y torbernita ferrifera (punto 1696n-2). Los valores de la tabla están en % atómico.

# Application Note

Company / Department



1696N 3

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	44,80	72,25	6,40
P	K-Serie	6,63	5,52	0,32
Fe	K-Serie	44,77	20,68	1,33
Cu	K-Serie	3,80	1,54	0,26
		100,00	100,00	

Figura 14-4. Resultados de los análisis SEM-EDS de una esfera de kidwellita (punto 1696n-1) asociada con calcosiderita (puntos 1696n-3 y 4) y torbernita ferrífera (punto 1696n-2). Los valores de la tabla están en % atómico.



Figura 16. Agregados de cristales laminares de coconinoíta. FOV 8 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

**Coconinoíta,  $Fe^{3+}_2Al_2(UO_2)_2(PO_4)_4(SO_4)(OH)_2 \cdot 20H_2O$**

La coconinoíta es un mineral muy escaso en la mina "La Virgen", si bien es posible que haya podido confundirse con la autunita, dado su elevado parecido. Se presenta como agregados de cristales en gavilla, de color amarillo pálido, sin ninguna otra asociación mineral (figura 16).

La identificación se ha realizado mediante espectrometría Raman, ya que el espectro de este mineral es muy característico (figuras 17 y 18), por presentar fuertes respuestas vibracionales ocasionadas por los grupos aniónicos y catiónicos  $(PO_4)^{-3}$ ,  $(SO_4)^{-2}$ ,  $(OH)^{-1}$  y  $(UO_2)^{+2}$  (Frost et al., 2011). El fuerte pico observado

a  $844\text{ cm}^{-1}$  se correspondería con los modos vibracionales del  $(UO_2)^{+2}$ , el doblete a  $985\text{ cm}^{-1}$  y  $996\text{ cm}^{-1}$  se corresponderían con los modos  $\nu_1$  de los grupos  $(PO_4)^{-3}$ , y la aguda banda a  $1020\text{ cm}^{-1}$  se debería a la respuesta vibracional de los modos  $\nu_1$  del grupo aniónico  $(SO_4)^{-2}$ . Estas respuestas vibracionales del espectro Raman de la coconinoíta son exclusivas y características de este mineral, por lo que no admite confusión con otras sales de uranio.

La coconinoíta es un mineral bastante raro a nivel mundial, siendo esta la primera cita en la Península Ibérica.

Figura 17. Espectro Raman de la coconinoíta de la mina "La Virgen" (en color azul) comparado con el espectro de la coconinoíta de la base de datos de RRUFF.

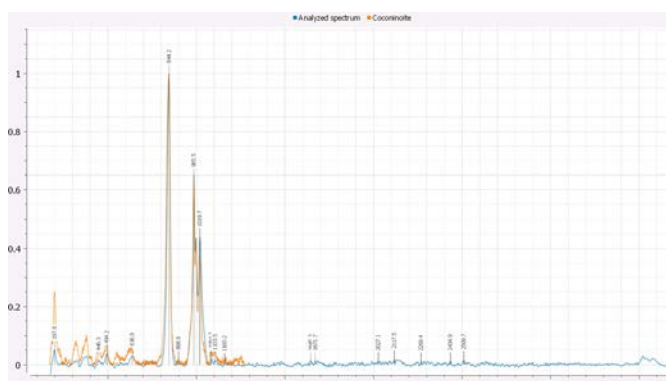


Figura 18. Detalle del espectro Raman de la coconinoíta de la mina "La Virgen" en la zona de bajas frecuencias, donde se ponen claramente de manifiesto las intensas respuestas vibracionales a  $844\text{ cm}^{-1}$ ,  $985\text{ cm}^{-1}$ ,  $996\text{ cm}^{-1}$  y  $1020\text{ cm}^{-1}$ , característicos de este mineral.

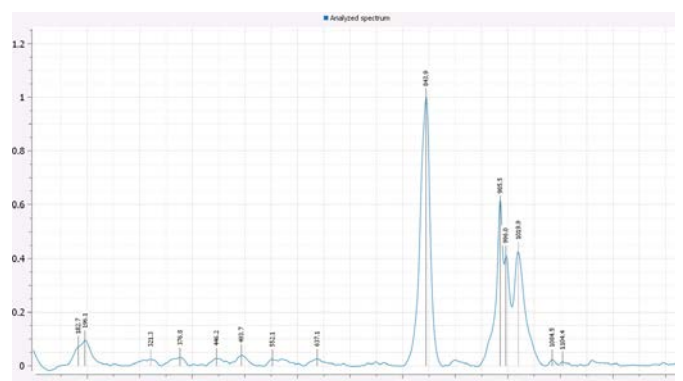




Figura 19. Cristal octaédrico de cuprita de 1 mm de lado e intenso color rojizo, sobre cuarzo. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

#### **Coffinita, $U(SiO_4) \cdot nH_2O$**

Según Arribas (1963), fue uno de los principales minerales de uranio, en forma de esferas y costras acompañadas de pirita y calcosina, en la brecha hidrotermal.

#### **Crisocola, $Cu_{2-x}Al_x(H_{2-x}Si_2O_5)(OH)_4 \cdot nH_2O, x < 1$**

Se encuentra como agregados globulares o terrosos en el gossan limonítico, de color azul celeste. Los ejemplares encontrados distan mucho de las espectaculares formaciones cristalinas recuperadas en la

cercana mina “Trapero” (López Cabello, 2019).

#### **Cuprita, $Cu_2O$**

Ya citada por Arribas (1963), aparece como cristales octaédricos en los huecos del jaspe recristalizado, con tamaños máximos de 2 mm, y color rojizo (figura 19) o, más frecuentemente, verdosos o azulados por alteración superficial. Debido a su fragilidad es difícil obtener cristales sin dañar, pero cuando se consigue, constituyen excelentes micromounts para la especie. Suele encontrarse asociado con malaquita, cuarzo y barita (figura 20).

Figura 20. Cristal octaédrico de cuprita con reflejos azulados, asociado con un pequeño cristal amarillo de barita. FOV 4 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



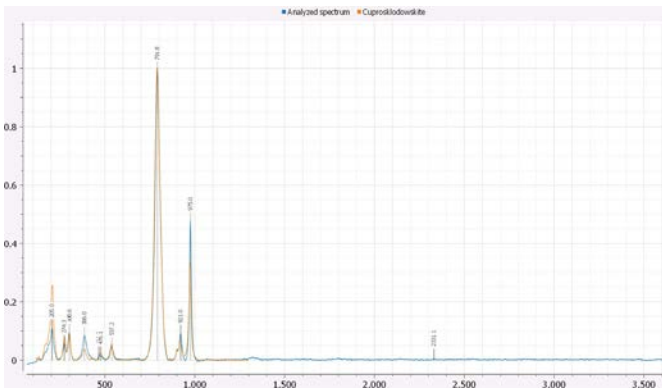


Figura 21. Espectro Raman de la cuprosklodowskita de la mina “La Virgen” (en color azul) comparado con el espectro de la cuprosklodowskita de la base de datos de RRUFF.



Figura 23. Grupo de cristales de cuprosklodowskita de unos 1,8 mm de tamaño, sobre cuarzo, asociados con barita. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

**Cuprosklodowskita,  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$**

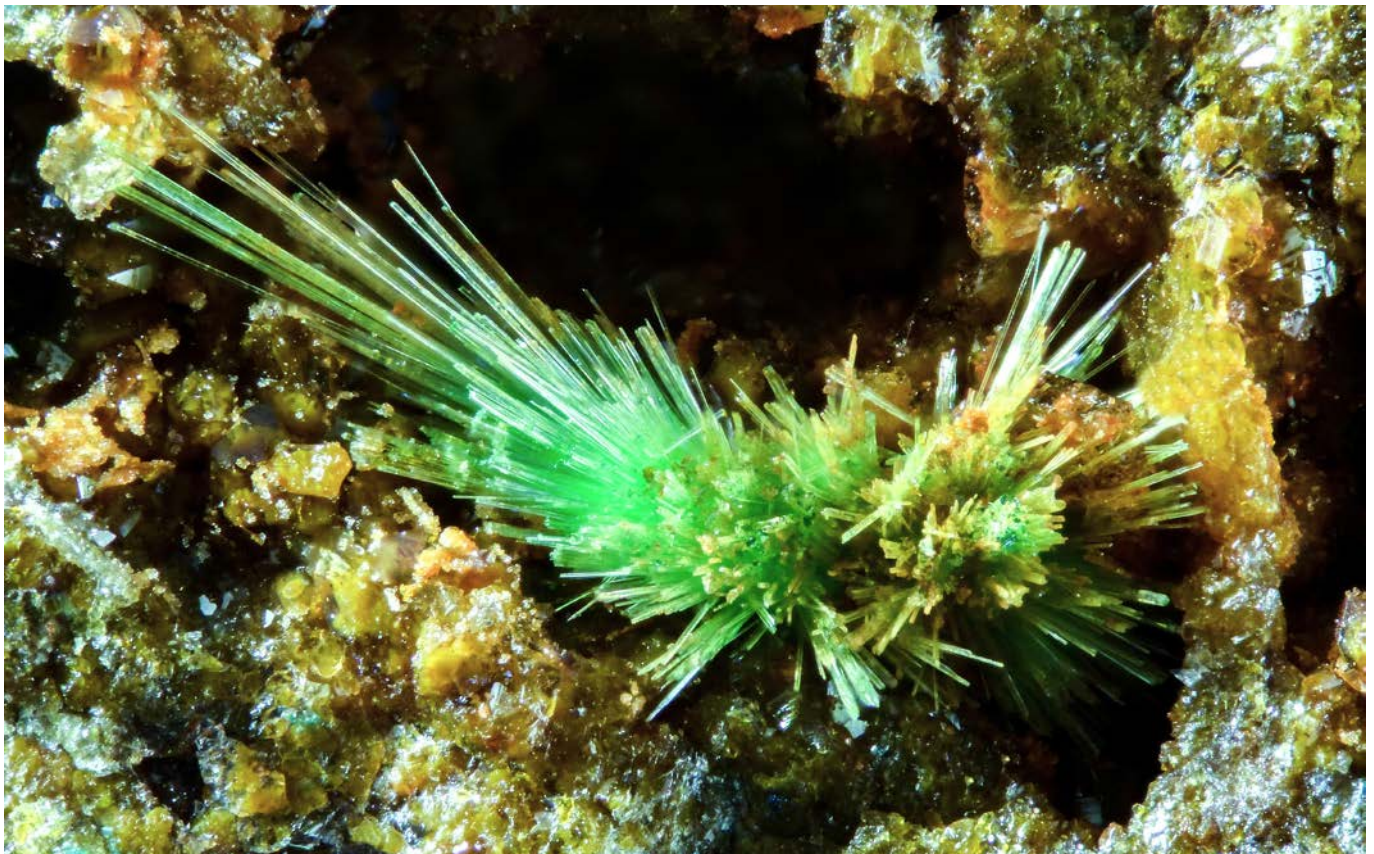
Mineral extremadamente escaso en la mina “La Virgen”, hasta ahora sólo hemos encontrado 2 muestras fehacientemente caracterizadas mediante análisis por espectrometría Raman (figura 21) y SEM-EDS (figura 22). Constituye agregados de cristales aciculares de color verde intenso a verde amarillento (figuras 23 y 24), de hasta 2 mm de tamaño. La mina “La Virgen” sería la segunda localidad española donde se encuentra este silicato de uranio, junto con la mina “Eureka” (La Torre de Cabdella, Lérida; Abella y Viñals, 2009), siendo los ejemplares de la mina “La Virgen” de gran

calidad para la especie.

**Goethita,  $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$**

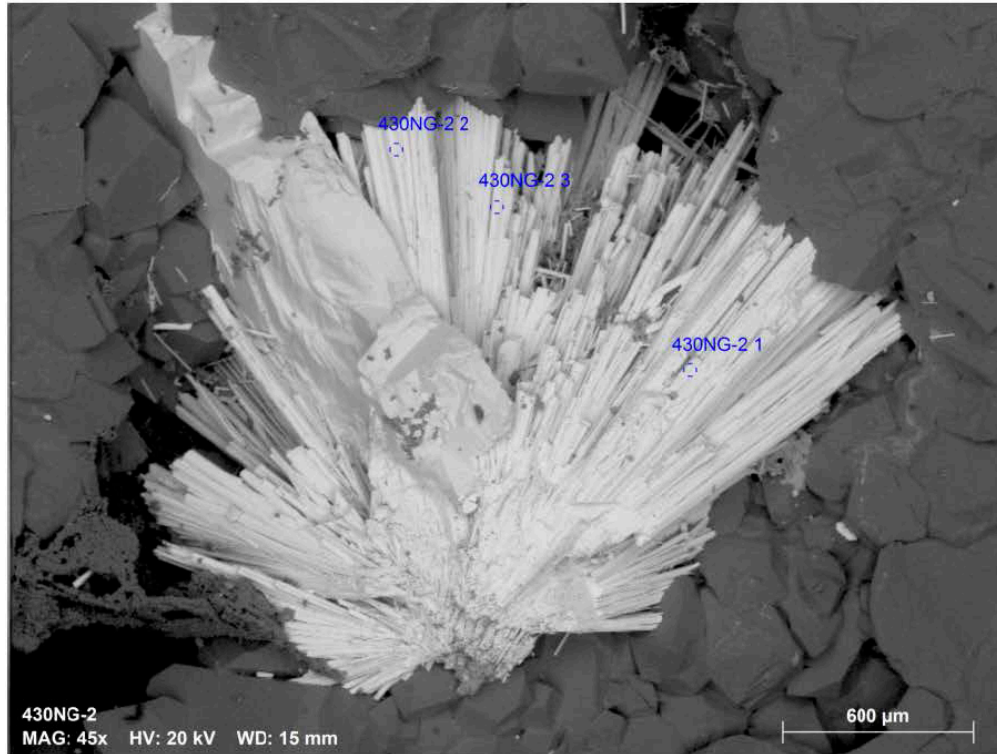
Se encuentra frecuentemente de forma masiva, y más raramente como cristales aciculares individualizados o en grupos con forma de gavilla, y color amarillo dorado de fuerte brillo, que las diferencia de la cacoxenita. Los tamaños de los cristales son submilimétricos.

Figura 24. Excelente grupo de cristales aciculares de cuprosklodowskita, de 2 mm de tamaño, procedente de las escombreras de la mina “La Virgen”. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



# Application Note

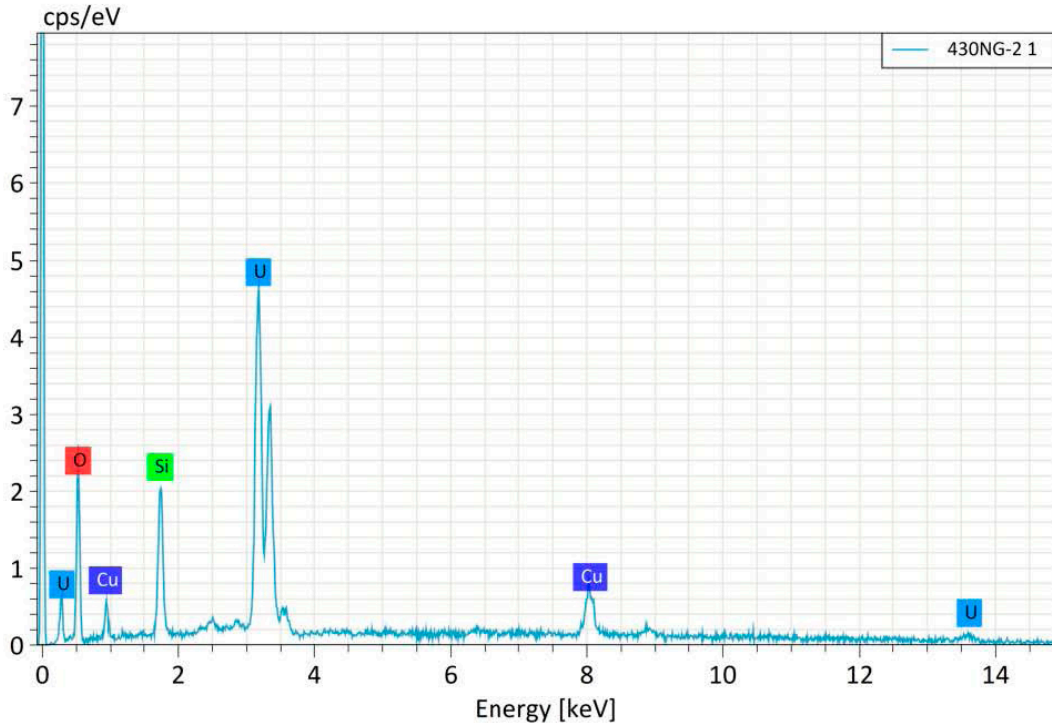
Company / Department



Atomic concentration [%]

Spectrum	O	Si	Cu	Ba	U
430NG-2 1	62,30	15,72	6,27		15,70
430NG-2 2	69,69	13,26	5,52	0,82	10,71
430NG-2 3	74,16	10,00	5,95		9,89
Mean	<b>68,72</b>	<b>12,99</b>	<b>5,92</b>	<b>0,82</b>	<b>12,10</b>
Sigma	<b>5,99</b>	<b>2,87</b>	<b>0,38</b>	<b>0,00</b>	<b>3,15</b>
SigmaMean	<b>3,46</b>	<b>1,66</b>	<b>0,22</b>	<b>0,00</b>	<b>1,82</b>

**Application Note**  
Company / Department

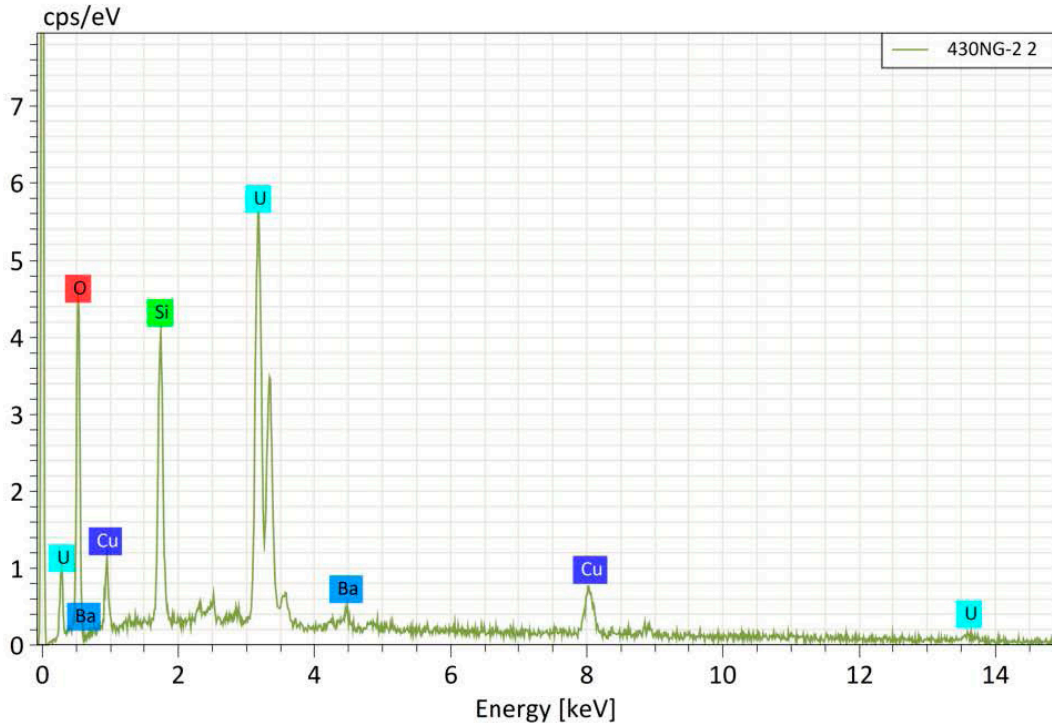


430NG-2 1

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	17,88	62,30	4,60
Si	K-Serie	7,92	15,72	0,57
Cu	K-Serie	7,15	6,27	0,44
U	M-Serie	67,05	15,70	2,91
		100,00	100,00	

Figura 22-2. Análisis SEM-EDS de la cuprosklodowskita fotografiada en la figura 23.

**Application Note**  
Company / Department

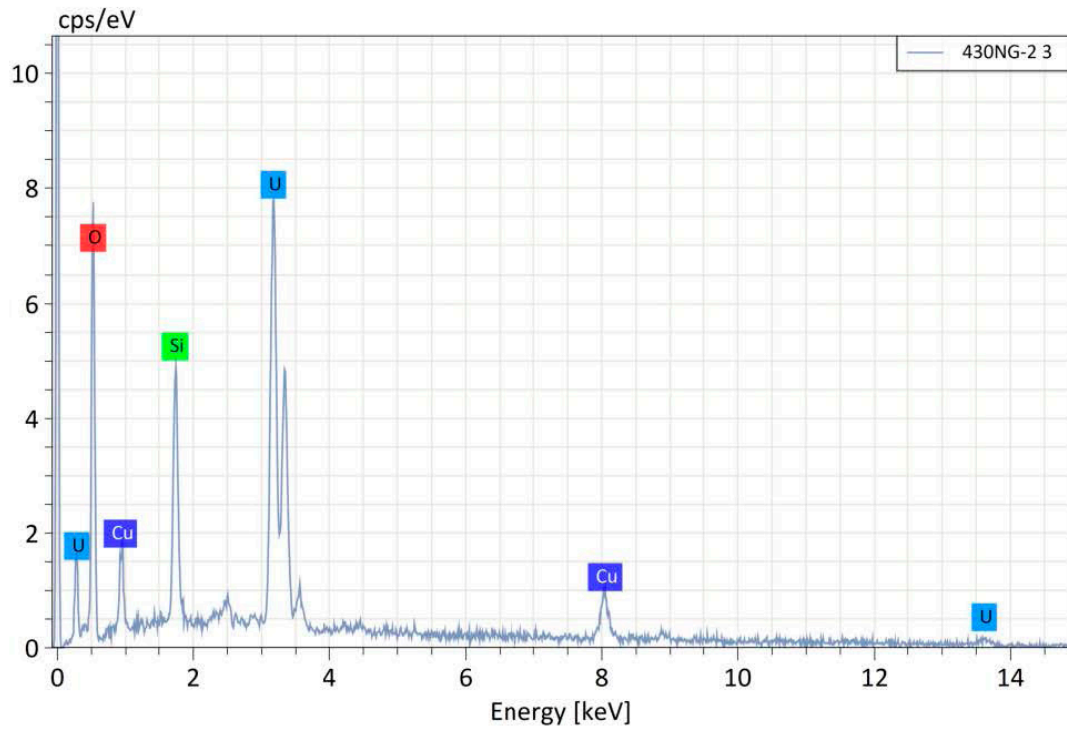


430NG-2 2

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	24,78	69,69	4,34
Si	K-Serie	8,28	13,26	0,43
Cu	K-Serie	7,80	5,52	0,40
Ba	L-Serie	2,50	0,82	0,29
U	M-Serie	56,64	10,71	1,87
		100,00	100,00	

Figura 22-3. Análisis SEM-EDS de la cuprosklodowskita fotografiada en la figura 23.

**Application Note**  
Company / Department



430NG-2 3

Element	Line s.	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)
O	K-Serie	28,25	74,16	4,63
Si	K-Serie	6,69	10,00	0,35
Cu	K-Serie	9,01	5,95	0,45
U	M-Serie	56,05	9,89	1,80
		100,00	100,00	

Figura 22-4. Análisis SEM-EDS de la cuprosklodowskita fotografiada en la figura 23.



Figura 25. Esfera verde-amarillenta de kidwellita con cristales estriados de calcosiderita y tabletas cuadrangulares de torbernita ferrífera. FOV 1,8 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

**Kidwellita,  $\text{NaFe}^{3+}_{9+x}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{11} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $x=0.33$**

Mineral muy poco frecuente en las escombreras de la mina "La Virgen", se presenta como esferas compactas de color verde amarillento y hasta 0,5 mm de diámetro, asociados con torbernita y calcosiderita (figura 25). Se ha identificado mediante análisis SEM-EDS (figura 14) y espectrometría Raman (figura 26).

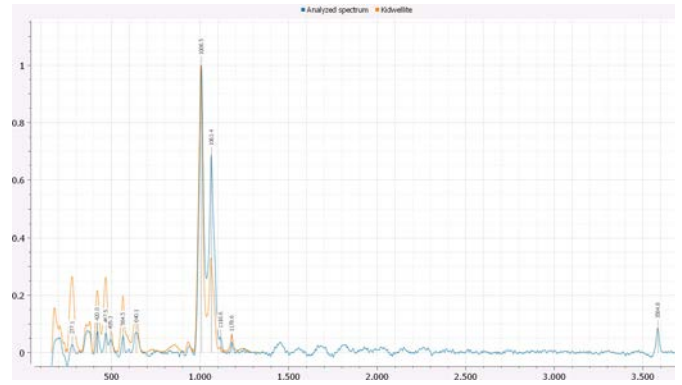


Figura 26. Espectro Raman de una kidwellita de la mina "La Virgen" (en color azul) comparado con el espectro de la kidwellita de la base de datos de RRUFF.

**Libethenita,  $\text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$**

En las escombreras de la mina "La Virgen" la libethenita es un mineral relativamente frecuente, aunque no suele proporcionar muestras de calidad. Se encuentra como cristales de aspecto pseudoctaédrico (figura 27) o prismáticos de clara morfología rómbica (figura 28), de hasta 1 mm de tamaño. Su identidad se ha constatado mediante espectrometría Raman.

**Linarita,  $\text{PbCu}(\text{SO}_4)(\text{OH})_2$**

Aparece en forma de pequeños cristales aciculares junto con cerusita (Calvo, 2014).

Figura 27. Cristales pseudo-octaédricos de libethenita de color verde pálido sobre cuarzo. FOV 1,5 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.





Figura 28. Cristales de libethenita de intenso color verde recogido en las escombreras de la mina “La Virgen”. FOV 2 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

**Malaquita,  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$**

Muy abundante, de forma masiva o en agregados de cristales fibroso-radiados. Los agregados cristalinos pueden ser confundidos con la pseudomalaquita masiva. Más raramente aparece como cristales prismáticos bien individualizados, de hasta 0,5 mm de longi-

Figura 29. Cristales prismáticos de malaquita de hasta 1 mm de longitud sobre cuarzo. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



tud (figura 29). Según Arribas (1963), acompaña a la tenorita y a la crisocola.

**Pseudomalaquita,  $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$**

Es uno de los principales minerales supergénicos de cobre en la mina “La Virgen”, donde ya fue caracterizada mediante DRX por García Guinea y Galán Huertos (1992), y ratificada su identidad mediante espectrometría Raman para este artículo. Lo más frecuente es encontrarla como agregados compactos de estructura radial, a veces centimétricos, que pueden crecer sobre un núcleo de cristales de torbernita. En las geodas del jaspe estos agregados pueden desarrollar terminaciones idiomorfas. Con menos frecuencia se encuentran cristales individualizados de hasta 1 mm sobre cuarzo o calcedonia (figuras 30, 31 y 32), o grupos de cristales en ordenación subparalela (figuras 33 y 34). El color es verde oscuro, casi negro, en los agregados masivos, o verde esmeralda en los cristales individuales y transparentes.



Figura 30. Cristales de pseudomalaquita bien individualizados, reunidos en rosetas, sobre cuarzo. FOV 3,5 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

Figura 31. Pseudomalaquita en forma de grupos de cristales con caras visibles sobre cuarzo. FOV 2 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.





Figura 32. Cristales de pseudomalaquita sobre cuarzo, donde se aprecia el desarrollo de caras cristalinas ligeramente curvadas. FOV 3 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



Figura 33. Grupo de cristales de pseudomalaquita en crecimiento pseudoparalelo, asemejando un cristal individual, sobre cuarzo. FOV 2 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

### Strengita, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La strengita se encuentra invariablemente en la mina “La Virgen” como agregados radiales de cristales prismáticos, bien terminados, de hasta 10 mm de diámetro, y color blanco o tenuemente rosado (figura 35). Se ha identificado mediante espectrometría Raman

(figura 36). Inicialmente este mineral se confundió con la wavellita (García García, 1991), si bien esta última no se ha encontrado hasta ahora en esta mina.

Figura 34. Típico agregado de cristales de pseudomalaquita de color verde oscuro, sobre cuarzo. FOV 2,5 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.





Figura 35. Agregado de cristales de strengita en disposición radial, de 2,5 mm de diámetro y color ligeramente rosado, asociado con cristales de calcosiderita. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

### Tenorita, CuO

Se encuentra acompañando a la malaquita, de forma masiva (Arribas, 1963), aunque posiblemente este autor se refiere a la pseudomalaquita.

Figura 36. Espectro Raman de la strengita mostrada en la figura anterior, comparado con el espectro de una strengita de la base de datos de RRUFF.

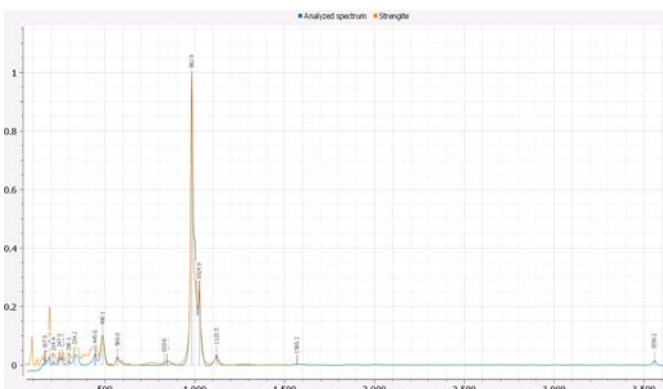


Figura 37. Antigua muestra de torbernita/metatorbernita extraída durante las últimas fases de explotación de la mina. La zona fotografiada tiene un tamaño de 45 x 40 mm, mientras que la pieza completa es de 55 x 45 mm. Procede de la colección de Lluís Daunis. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.





Figura 38. Crecimiento paralelo de cristales de torbernita, con escaso desarrollo de las pirámides tetragonales. Cristal de 2 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda

Figura 39. Cristal de torbernita de excelente color y transparencia, 3 mm. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.



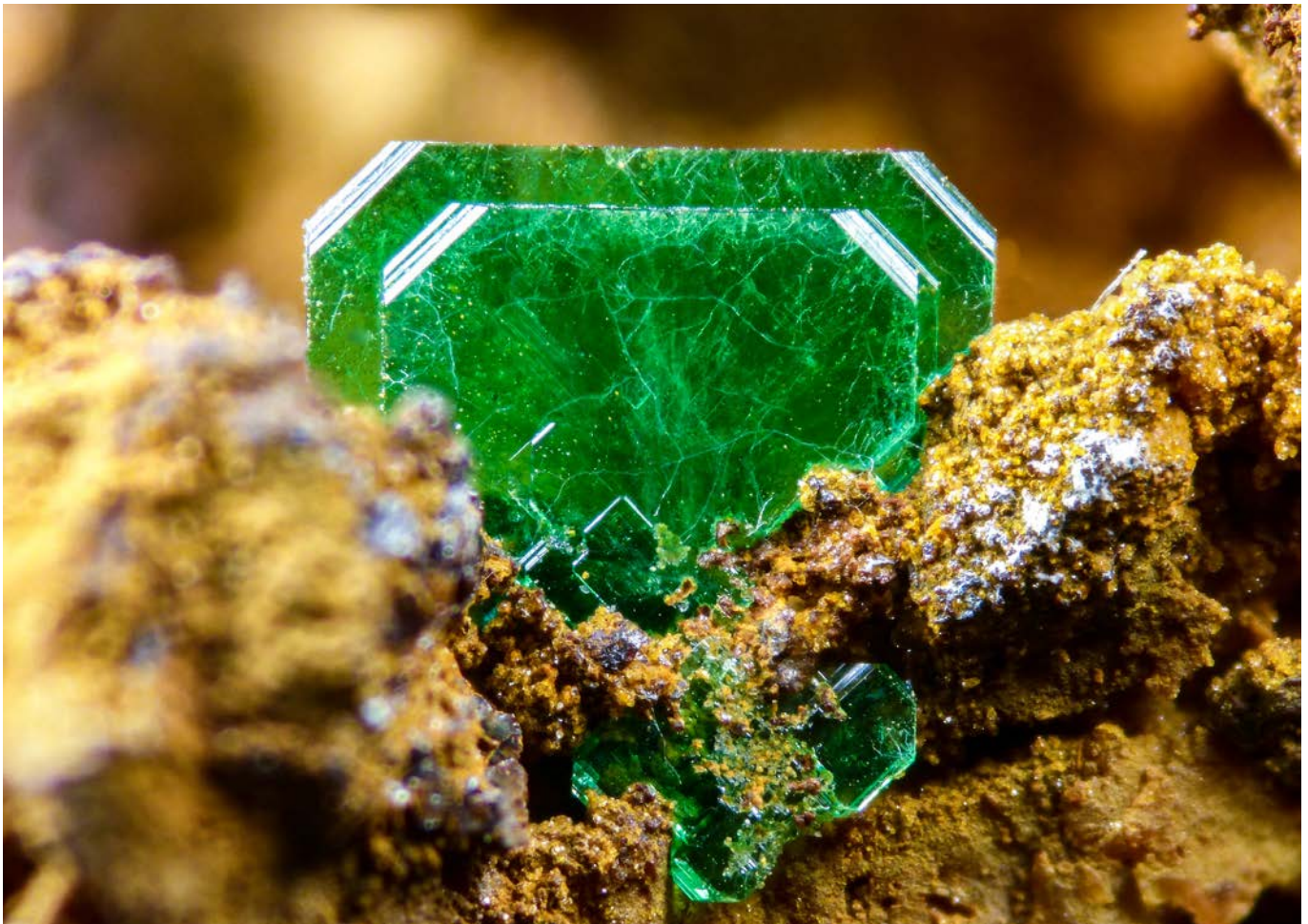


Figura 40. Grupo de dos cristales de torbernita en crecimiento paralelo (3 mm), con escaso desarrollo de las pirámides tetragonales. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

**Torbernita/metatorbernita,  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  /  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$**

La torbernita es uno de los principales minerales secundarios de la mina “La Virgen”. Durante su etapa de explotación se extrajeron piezas centimétricas con cristales tabulares de torbernita/metatorbernita de hasta 10 mm de lado, cubriendo amplias zonas del gossan (figura 37). En las escombreras se encuentra frecuentemente en los huecos del gossan limonítico y los jaspes, como cristales tabulares de sección cuadrada, a veces con truncaciones en las aristas, y muy finos y frágiles (figuras 38, 39 y 40). Estos cristales presentan un color verde intenso y gran transparencia, o más frecuentemente son opacos y de color verde blanquecino, por su deshidratación a metatorbernita.

Más raramente se encuentra como pequeños cristales inferiores al milímetro, con mayor desarrollo de la bipirámide tetragonal (figura 41), que conserva su mayor estado de hidratación (García García, 1991). Sin duda, constituyen ejemplares de gran calidad como muestras de micromount.

Cuando se encuentra asociada a strengita, kidwellita y calcosiderita, los cristales presentan un color amarillento, y según el análisis SEM-EDS efectuado (figura

14), contienen una cantidad considerable de hierro, si bien éste podría encontrarse recubriendo los cristales de torbernita como una finísima capa en forma de óxido o hidróxido. Por otra parte, no se ha detectado la presencia de arsénico sustituyendo al fósforo. El análisis Raman efectuado sobre una de las muestras de la mina “La Virgen” concuerda plenamente con la metatorbernita de la base de datos de RRUFF (figura 42).

Figura 42. Espectro Raman de una torbernita/metatorbernita de la mina “La Virgen” (en azul) comparado con el espectro de la metatorbernita de la base de datos de RRUFF.

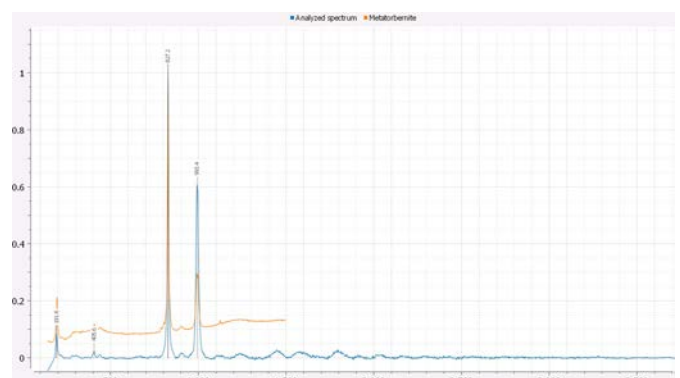




Figura 41. Pequeño cristal de torbernita (1 mm) que muestra un mayor desarrollo de las caras piramidales, sobre cuarzo. La absoluta transparencia del cristal es indicativa de la baja deshidratación del mismo. Foto y colección Borja Sainz de Baranda.

Los cristales de tobernita/metatorbernita encontrados en la mina “La Virgen” son en apariencia muy similares a los recuperados en las escasas escombreras de la mina “Navalasnó”, así como de aquellos procedentes de las minas “Obejo” y “Trapero”, que constituyen la “Zona Uranífera de Andújar” (López Cabello, 2019).

#### **Turquesa, $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$**

Según García Guinea (1986) y García Guinea y Galán Huertos (1992), se encuentra turquesa en la mina “La Virgen” como pequeñas vetas asociadas a otros fosfatos, si bien estos autores no aportan ningún análisis ni detalles de cómo se ha realizado su reconocimiento. Nosotros no la hemos encontrado hasta ahora en la mina “La Virgen”, aunque sí su equivalente ferrífero, la calcosiderita. No obstante, es posible que se encuentre este mineral de forma similar a como apare-

ce en la mina “Trapero”, ya en el término de Cardeña, Córdoba (López Cabello, 2019).

#### **Uraninita, $\text{UO}_2$**

Aparece en su variedad “pechblenda”, como masas concrecionadas y esferulíticas, junto con calcosina y coffinita (Arribas, 1963).

#### **Uranofana, $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$**

Forma parte de los minerales secundarios de uranio (Folch, 1966).

#### **Uranopilita, $(\text{UO}_2)_6(\text{SO}_4)\text{O}_2(\text{OH})_6 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ y zippeíta, $\text{K}_3(\text{UO}_2)_4(\text{SO}_4)_2\text{O}_3(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$**

Minerales de neoformación que se encontraban recubriendo las paredes de las galerías (Arribas, 1963).

## BIBLIOGRAFÍA

- + Abella, J. y Viñals, J. (2009): «Čejkaita, arsenuranilita, compreignacita, natrozipeíta y otros minerales raros de uranio en el yacimiento «Mina Eureka», Castell-estaó, La Torre de Cabdella, Lleida, Catalunya». *Revista de Minerales* (2009-2), 52-71.
- + Arribas Moreno, A. (1963): «Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio: La Virgen, Andújar (Jaén)». *Estudios Geológicos*, XIX, 15-33.
- + Calvo Rebollar, M. (2014): *Minerales y Minas de España. Volumen VI: Sulfatos (seleniatos, teluratos), cromatos, molibdatos y wolframatos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 653 pp.
- + Calvo Rebollar, M. (2015): *Minerales y Minas de España, volumen VII. Fosfatos, arseniatos y vanadatos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 479 pp.
- + Folch, J. (1966): «Los minerales de Uranio en España». *Memorias de la real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 37, 223-257.
- + Frost, R.L., Palmer, S.J. y Cejka, J. (2011): «The application of Raman spectroscopy to the study of the uranyl mineral coconinoite  $\text{Fe}^{3+}_2\text{Al}_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ ». *Spectroscopy Letters*, 44(6), 381-387.
- + García García, G. (1991): «Mina La Virgen, Andújar (Jaén)». *Azogue*, 5, p. 13-35.
- + García Guinea, J. (1986): *Minerales españoles de interés gemológico*. Mapa Previsor y Memoria IGME.
- + García Guinea, J. y Galán Huertos, G. (1992): *Materiales Gemológicos Españoles*. En “Recursos Minerales de España”, CSIC, Madrid.
- + López Cabello, A. (2019): «Mina Trapero, Cardeña, Córdoba». *FMF - Foro de Mineralogía Formativa*; Colección: Yacimientos Minerales en FMF. Vol. 3. Nº 112. [En línea] <<https://www.foro-minerales.com/forum/viewtopic.php?t=13698>>
- + Vázquez Guzmán, F. (1980): *Depósitos Minerales de España*. IGME, Madrid.
- + VV.AA. (2011): *Cartografía de Recursos Minerales de Andalucía*. Junta de Andalucía. IGME. 594 pp.

## Webs consultadas

- + <https://rruff.info>
- + <https://www.mindat.org>