

Las zeolitas de Agua Amarga, Níjar, Almería, Andalucía

Ramón JIMÉNEZ MARTÍNEZ

CN IGME-CSIC
Madrid, España
r.jimenez@igme.es

Adolf CORTEL ORTUÑO

Grup Mineralògic Català
Olesa de Montserrat, Barcelona, España
adolf.cortel@gmail.com

José GONZÁLEZ DEL TÁNAGO

Fac. Ciencias Geológicas, UCM
Madrid, España
tanago@geo.ucm.es

M^a Pilar HERNÁNDEZ PINILLA

CN IGME-CSIC
Madrid, España
mp.hernandez@igme.es

Juan Miguel SEGURA MARTÍNEZ

Autor independiente
Almería, España
juanmisegura@gmail.com

Josep A. SOLDEVILLA GONZÁLEZ

Grup Mineralògic Català
Canyelles, Barcelona, España
jasoldevilla@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se estudia un yacimiento de zeolitas localizado cerca del pueblo de Agua Amarga, perteneciente al municipio almeriense de Níjar. El yacimiento está situado en el área volcánica del Cabo de Gata, presentándose las zeolitas rellenando vesículas en una andesita piroxénica.

La complejidad en la caracterización de estos minerales, unido a la escasez de alguna de estas zeolitas, nos ha llevado a complementar los análisis SEM-EDS y Raman con la medida de las propiedades ópticas. De esta forma se han podido identificar las zeolitas siguientes: faujasita-Na, paulingita-K (y -Na), erionita-K y phillipsita-Na. La identificación de la phillipsita-Na se ha confirmado con DRX.

PALABRAS CLAVE

Agua Amarga; Cabo de Gata; Almería; zeolitas; faujasita-Na; paulingita-K; erionita-K; phillipsita-Na.

ABSTRACT

This article studies a zeolite deposit located near the village of Agua Amarga, belonging to the Almería municipality of Níjar. The deposit is located in Cabo de Gata volcanic area, presenting zeolites filling vesicles in a pyroxenic andesite. The complexity of the characterization of these species, together with the scarcity of some of these zeolites, has led us to complement SEM-EDS and Raman spectroscopy with the measurement of the optical properties. In this way, the following four zeolites have been identified: faujasite-Na, paulingite-K (and -Na), erionite-K and phillipsite-Na. The identification of phillipsite-Na has been confirmed by XRD.

KEYWORDS

Agua Amarga; Cabo de Gata; Almería; zeolites; faujasite-Na; paulingite-K; erionite-K; phillipsite-Na.

JIMÉNEZ MARTÍNEZ, Ramón; CORTEL ORTUÑO, Adolf; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, José; HERNÁNDEZ PINILLA, M^a Pilar; SEGURA MARTÍNEZ, Juan Miguel; SOLDEVILLA GONZÁLEZ, Josep A. (2022): "Las zeolitas de Agua Amarga, Níjar, Almería, Andalucía". *Paragénesis*, vol. 3, núm. 3 (2022-1), pp. 3-24.

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Almería, concretamente en torno al Cabo de Gata, en Níjar, está localizado un complejo volcánico cuya actividad se produjo durante el Mioceno medio y superior. El resultado de esta actividad se puede observar en los numerosos afloramientos volcánicos existentes, donde predominan las andesitas, tanto anfibólicas como piroxénicas. En estas andesitas se han producido procesos de alteración hidrotermal que, entre otras consecuencias, han dado lugar a la formación de diversas especies de zeolitas.

En este trabajo se ha centrado la atención sobre un afloramiento situado a unos 4 km al noroeste de

Agua Amarga, en el norte del término municipal de Níjar, donde se han recolectado zeolitas con cristales idiomorfos bien definidos y que por ello han podido ser bien identificadas. Estas zeolitas aparecen junto a otras más escasas y peor cristalizadas que, debido a la complejidad de su caracterización, serán objeto de otro estudio posterior.

ANTECEDENTES

La presencia de zeolitas se ha citado en el área volcánica del Cabo de Gata, municipio de Níjar, desde inicios del siglo xx. Así, Salvador Calderón, en 1910 y dentro de su obra *Los Minerales de España*, señala

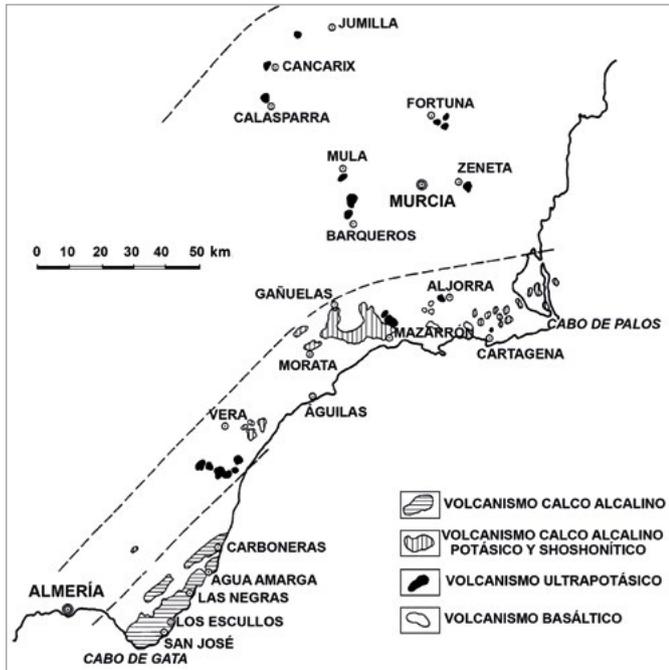


Figura 1. Distribución del volcanismo neógeno en el sureste español. Fuente: López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980.

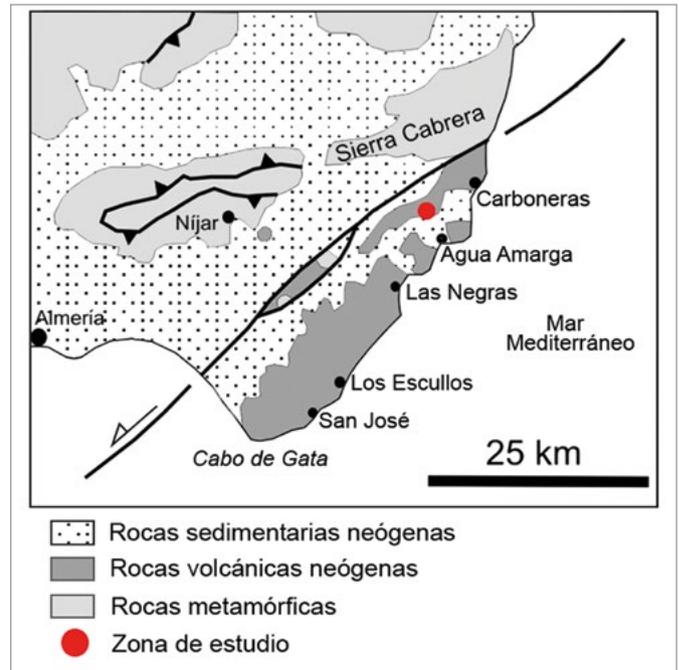


Figura 2. Mapa geológico simplificado de la zona del Cabo de Gata. Fuente: modificado de Soriano *et al.*, 2016.

la presencia de natrolita en las andesitas del Cabo de Gata.

Posteriormente, la mordenita es la zeolita de esta zona que con mayor profusión ha sido referenciada:

- Martín Vivaldi y López Aguayo (1975) la citan en un yacimiento de bentonita en el Morrón de Mateo, cerca de Los Escullos;
- Caballero *et al.* (1985) la señalan, junto a otras zeolitas, también en la zona de Los Escullos (Morrón de Mateo, Loma Pelada y Cortijo de la Loma) y así mismo al suroeste y oeste de Agua Amarga (Rambla Vieja y Rambla de Méndez);
- Del Valle González y González Cesteros (1990) la sitúan en los yacimientos de bentonita;

Figura 3. Afloramiento de bloques de andesita anfibólica. Foto: Ramón Jiménez.



- Benito *et al.* (1997) la detallan en un estudio sobre la mineralogía y geoquímica igualmente de la zona de Los Escullos;
- Calvo Rebollar (2018) menciona su presencia en la zona entre Punta Redonda y Punta Colorada, junto a la carretera de San José al faro del Cabo de Gata.

En la *web* del Foro de Mineralogía Formativa (FMF) se señala que, en la primera década de este siglo, José González del Tánago analizó algunas zeolitas de una colección antigua, procedentes de Los Escullos, concretamente de un talud de la carretera que lleva a El Pozo de los Frailes, determinando que se trataba de ferrierita-Mg y clinoptilolita-Ca. En los últimos años

Figura 4. Depósito de bloques de andesita piroxénica. Foto: Ramón Jiménez.



se ha mencionado la presencia de analcima en Atochares y de phillipsita-K en las inmediaciones del Cortijo de las Negras (Calvo Rebollar, 2018).

ENCUADRE GEOLÓGICO

El área estudiada se localiza en la región volcánica neógena del SE español (FIG. 1). Esta región ocupa parte de las provincias de Albacete, Murcia y Almería, extendiéndose por una franja costera desde el Mar Menor hasta el Cabo de Gata, con algunos afloramientos más hacia el interior, como los de lamproítas de Cancarix y Jumilla.

En esta región se distinguen cuatro tipos de asociaciones volcánicas (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980):

- El volcanismo calco-alcalino, constituido por andesitas basálticas, andesitas, dacitas y riolitas, restringido fundamentalmente a la zona del Cabo de Gata.
- El volcanismo calco-alcalino potásico, representado por andesitas y dacitas potásicas, y el shoshonítico, con banakitas y toscanitas (latitas), que ocupan el sector de Hoyazo-Vera-Mazarrón-Cartagena.
- El volcanismo ultrapotásico, integrado por rocas lamproíticas cuyo nombre se toma de las localidades donde afloran: cancalita o cancarixita (de Cancarix, Albacete), jumillita (de Jumilla, Murcia), fortunita (de Fortuna, Murcia) y verita (de Vera, Almería).
- El volcanismo basáltico-alcalino, representado por basaltos olivínicos y restringido a una zona muy reducida situada al noroeste de Cartagena (Murcia).

Según los distintos autores que han estudiado la edad del volcanismo (Bellon y Brousse, 1977; Nobel *et al.*, 1981; Bellon *et al.*, 1983; Di Battistini *et al.*,

1987; Turner *et al.*, 1999; Scotney *et al.*, 2000; Duggen *et al.*, 2005), la actividad volcánica tuvo lugar durante dos periodos dentro del Neógeno: el primero, en un intervalo que va desde hace 18 Ma hasta hace 6 Ma, con volcanismos calco-alcalino, calco-alcalino potásico y shoshonítico y ultrapotásico; y el segundo, tras 2 Ma de inactividad, con un magmatismo basáltico alcalino, restringido al NO de Cartagena (López Ruiz *et al.*, 2004).

EL YACIMIENTO DE AGUA AMARGA

El yacimiento estudiado está localizado a unos 4 km al NO de Agua Amarga, en las proximidades de la Rambla de Covaticas, perteneciente al municipio de Níjar. Se incluye en la zona volcánica del Cabo de Gata, dentro del área de volcanismo neógeno calco-alcalino (FIG. 2).

Se encuentra dentro del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, declarado en 1987. Además, en la actualidad, también se incluye en el Geoparque Mundial de la UNESCO del mismo nombre, por lo que las actividades permitidas en la zona se encuentran sujetas al Plan de Ordenación de Recursos Naturales (PORN) y al Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque.

Constituye un ejemplo de magmatismo en ambiente marino somero o litoral en el que los edificios volcánicos se encuentran muy erosionados (López Ruiz *et al.*, 2004). A partir de los depósitos preservados, se ha propuesto que el Cabo de Gata puede entenderse como un campo volcánico formado por domos de lava de pequeña escala dispersos, complejos de domos más grandes y montes submarinos volcánicos de mayor tamaño. Las rocas volcánicas erupcionaron a partir de fumarolas submarinas, incluyendo la zona una amplia variedad de facies, que van desde explosivas a efusivas, presentando además condiciones transitorias durante las erupciones (Soriano *et al.*, 2016).

En el afloramiento de Agua Amarga predominan

Figura 5. Vesícula rellena de zeolita. C.V.: 1,5 mm. Colección y foto: CN IGME-CSIC.



Figura 6. Bloques de andesita piroxénica con corteza de alteración. Foto: Ramón Jiménez.



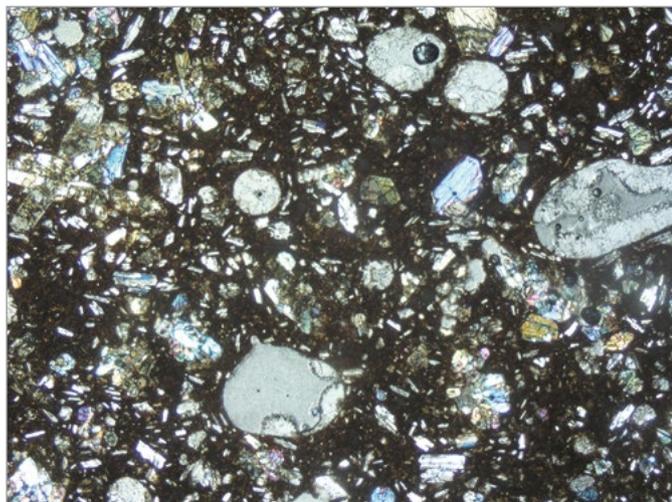


Figura 7. Textura general de la andesita piroxénica. C.V.: 8 mm. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

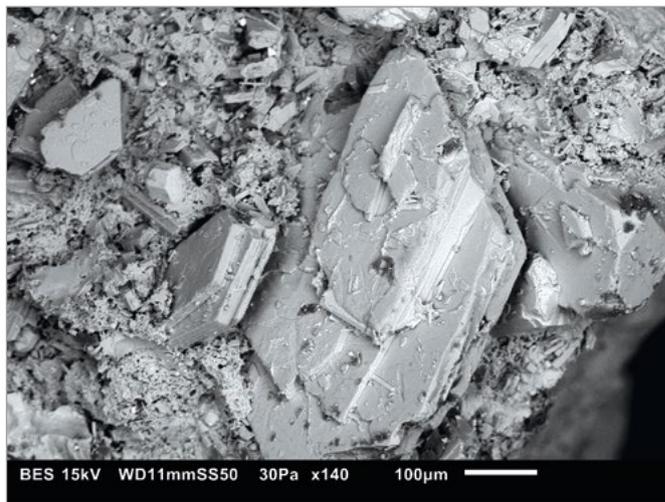


Figura 8. Imagen SEM de un cristal de anortita. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

los depósitos caóticos de brechas autoclásticas de andesitas anfibólicas (FIG. 3) y, en menor medida, de andesitas piroxénicas (FIG. 4), que pueden ser interpretados como avalanchas submarinas de bloques, que aparecen soldados, o muchas veces unidos, por una matriz constituida por clastos volcánicos y vidrio de grano muy fino.

Las zeolitas se encuentran en bloques de andesitas piroxénicas, rellenando vesículas amigdaloides (FIG. 5). Estos bloques muestran una zonación, siendo más

oscuros, casi negros, en su interior, mientras que en la fina capa externa adquieren tonos pardos (FIG. 6). La distribución de las zeolitas dentro de los bloques también varía de centro a borde, siendo más común la phillipsita-Na en la zona externa.

La textura general de la andesita piroxénica es porfídica seriada hialopilítica (FIG. 7), es decir, presenta una serie de fenocristales de distinto tamaño, rodeados de vidrio volcánico. Los fenocristales son principalmente de plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxe-

Figura 9. Cristal de diópsido en andesita piroxénica. C.V.: 2,2 mm. Colección: Museo Geominero, Madrid; foto: Josep A. Soldevilla.





Figura 10. Drusa de cristales de calcita. C.V.: 8 mm. Colección: Museo Geominero, Madrid; foto: Josep A. Soldevilla.



Figura 11. Agregados de cristales de aragonito. C.V.: 4 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

no, siendo ocasional la presencia de olivino alterado y anfíbol hornbléndico.

La anortita (plagioclasa cálcica) es el mineral más abundante y se presenta en cristales idiomorfos de hasta 5 mm (FIG. 8), con una composición $An_{72-75}Ab_{28-25}$, que corresponde a la variedad bytownita. Los piroxenos suelen formar agregados glomeroporfídicos de hasta 8 mm y sus cristales son idiomorfos, como el diópsido de la FIG. 9. Otros minerales que se han observado son los carbonatos calcita (FIG. 10) y aragonito (FIG. 11), óxidos de Fe y un óxido de Mn que, una vez analizado con SEM-EDS, parece ser jianshuiita (FIG. 12).

Este yacimiento fue encontrado por José María Boloix Travería (FIG. 13). José María es un apasionado de la geología almeriense y ha observado los afloramientos volcánicos del Cabo de Gata desde los años 70 del siglo pasado, residiendo en Agua Amarga desde 1987.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ZEOLITAS DE AGUA AMARGA

Las zeolitas constituyen un numeroso grupo de minerales. La última lista oficial de las especies acepta-

das por la IMA se puede encontrar en Coombs *et al.* (1997). La International Zeolite Association (IZA) mantiene una base de datos actualizada de las zeolitas naturales y sintéticas. Otra referencia completa, pero ya algo desfasada, debido a los años que han transcurrido desde su publicación en 2001, es el volumen dedicado a las zeolitas en *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* de la Mineralogical Society of America (Bish y Ming, 2001). Algo más anticuado, pero fascinante, es el libro *Zeolites of the world* (Tschernich, 1992). Estas fuentes, junto con las bases de datos de Mindat, Webmineral, Mineralienatlas y del proyecto RRUFF, dan una idea de la complejidad de las zeolitas.

Actualmente son 101 las especies de zeolitas aceptadas por la IMA, todas ellas similares en cuanto a estructura y composición. Generalmente están formadas por Si, Al, Ca, K y Na, a los que se añaden, en algunos casos, elementos químicos más raros, entre los que se encuentran Be, Li, Ba, Mg y Cu. Son tectosilicatos cuya composición tiene una notable variabilidad debido a la sustitución de Si por Al (la gran mayoría son aluminosilicatos), y muy raramente por Be o B, y a la facilidad con que los cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos pueden encajar en la estructura

Figura 12. Óxido de Mn (probable jianshuiita). C.V.: 2,5 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



Figura 13. José María Boloix explicando sus experiencias de campo por tierras almerienses. Foto: Ramón Jiménez.



y ser reemplazados unos por otros (Chipera y Apps, 2001; Passaglia y Sheppard, 2001). Estas variaciones composicionales (FIG. 14) pueden suponer serias dificultades para su identificación.

La técnica SEM-EDS, que tan útil resulta en otros minerales en los que la composición reduce a unos pocos los candidatos aceptables, es muy poco concluyente en la identificación de las zeolitas, excepto si hay algunos elementos poco frecuentes (Ba, Cu, Mg...).

Algo parecido ocurre con la espectroscopia Raman, cuya utilidad en el caso de las zeolitas está limitada por el gran parecido de los espectros de algunas de ellas y por los cambios en la región baja del espectro dentro de la misma especie, debido al distinto contenido de cationes (Tsai *et al.*, 2021). Incluso la difracción de rayos X, la técnica más útil para la identificación de especies minerales, puede presentar problemas con las zeolitas debido a que el contenido de agua puede variar con mucha facilidad y a que algunos espectros son muy parecidos, por no hablar del problema, en nuestro caso, de no poder disponer de la cantidad de muestra suficiente para su análisis mediante la técnica de polvo cristalino.

Por todo ello, se ha empleado también la medida de las propiedades ópticas, ya que tiene un interés especial para la caracterización de este grupo de minerales. Así pues, las identificaciones que se describen a continuación se han llevado a cabo mediante la sinergia de los análisis con SEM-EDS, espectroscopía Raman y determinación de las propiedades ópticas, ya que ninguna de estas técnicas, por separado, ha dado información suficiente para una identificación fiable. Lamentablemente, en los casos dudosos no se ha dispuesto de la cantidad de muestra necesaria para realizar DRX.

Los intentos de identificación de las zeolitas que se presentan como costras o bolas fueron infructuosos, ya que los espectros Raman resultaron muy débiles. En estas muestras, a menudo hay capas superpuestas de zeolitas que se pueden haber desarrollado mediante crecimiento epitaxial y no hay cristales apropiados para su observación en el microscopio petrográfico. Es probable que en un futuro algunas de estas muestras se puedan identificar con DRX. Así pues, de momento, hemos restringido este estudio a las cuatro zeolitas que se presentan en forma claramente cristalina, cuya composición uniforme facilita su identificación, así como la medida de sus propiedades ópticas.

Dos de las zeolitas estudiadas pertenecen al sistema cúbico: los cristales, que son isótropos en el microscopio petrográfico, forman octaedros en un caso (faujasita-Na) y cubos en el otro (paulingita-K). Del centenar de especies de zeolitas actuales, solo 10 pertenecen al sistema cúbico (incluyendo la analcima, que en realidad es polimórfica pero con los tres parámetros axiales de medida muy similar) lo que ha simplificado un poco su identificación.

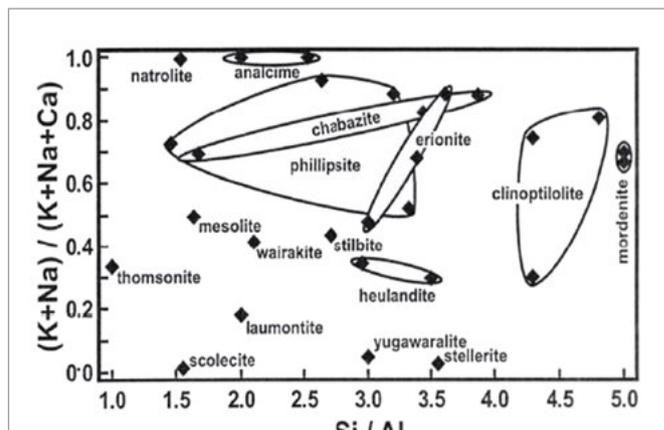


Figura 14. Variación en la composición de algunas de las principales zeolitas. Fuente: Bish y Ming, 2001.

Algo parecido ocurre con otra de las zeolitas estudiadas (erionita-K), que se presenta como agregados radiales de prismas de hábito hexagonal. Del centenar de especies de zeolitas, solo 12 tienen esta morfología.

La cuarta especie de zeolita, que se presenta como cristales bien diferenciados, y es la más abundante en el yacimiento, es la phillipsita-Na. Se ha identificado a partir de la compatibilidad de su espectro Raman y las propiedades químicas y ópticas, con las descritas para este mineral, y es la única zeolita que ha sido posible determinar mediante DRX.

Además de las zeolitas, se ha comprobado mediante espectroscopia Raman y microscopía electrónica que algunas vesículas, principalmente las de la zona externa de los bloques, contienen cristales de aragonito y de calcita. Estos minerales, que también constituyen costras alrededor de los bloques, se han formado en un proceso de disolución y precipitación de los carbonatos depositados con posterioridad a la formación de las zeolitas.

Llama la atención que en ninguna de las zeolitas caracterizadas el Ca sea el catión mayoritario y que en dos de ellas (phillipsita-Na y paulingita-K) o no se ha encontrado este catión, o su concentración es muy baja. Nuestra explicación de este hecho pasa por la aceptación de un modelo de alteración hidrotermal de baja temperatura, que produciría la disolución de parte del vidrio de la andesita y la posterior precipitación de las zeolitas en las vesículas. El magma inicial calco-alcalino es rico en elementos alcalinos, pero también en calcio. Sin embargo, las andesitas piroxénicas están formadas fundamentalmente por anortita y piroxenos (serie enstatita-ferrosilita y clinopiroxenos ricos en calcio). Por tanto, el líquido residual que ha dado lugar al vidrio en las andesitas estaba empobrecido en Ca y, consecuentemente, enriquecido en elementos alcalinos (Na y K). Al disolverse este vidrio, el fluido hidrotermal genera la precipitación de zeolitas con predominio de cationes alcalinos.

En todos los casos, se ha confirmado mediante SEM-EDS la compatibilidad de la composición de las mues-



Figura 15. Cristal octaédrico translúcido de faujasita-Na. C.V.: 2,2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

Figura 16. Grupo de cristales octaédricos de faujasita-Na. C.V.: 2,7 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.





Figura 17. Cristal octaédrico de faujasita-Na. C.V.: 2,2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 18. Cristales octaédricos transparentes de faujasita-Na. C.V.: 2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



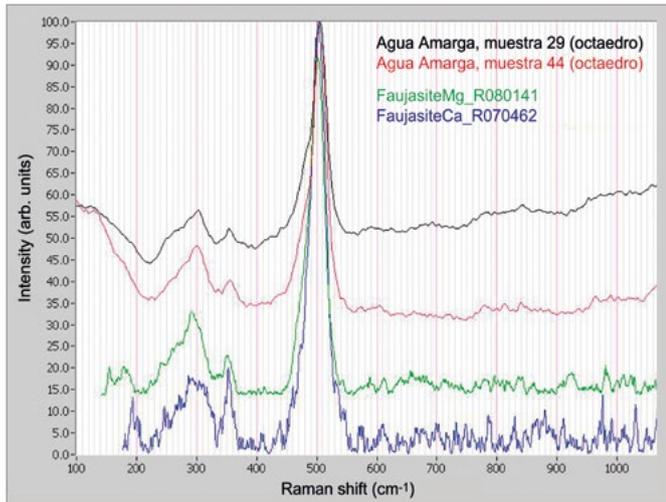


Figura 19. Espectros Raman de dos cristales octaédricos de Agua Amarga, comparados con los de dos faujasitas de la base de datos RRUFF. Fuentes: Adolf Cortel y proyecto RRUFF.

tras con la descrita para cada especie y se ha identificado el catión predominante. Los espectros SEM-EDS se han realizado con un equipo JEOL 6010 PLUS/LA de los laboratorios del CN IGME-CSIC en Tres Cantos (Madrid) y en los Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB). El equipo JEOL 6010 PLUS/LA del CN IGME-CSIC ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) (Ref. IGME13-4E-1518). Los análisis por DRX se han realizado con un equipo XPERT PRO MPD de PANalytical en los laboratorios del CN IGME-CSIC.

En los próximos apartados se detallan las cuatro especies que han sido identificadas.

Faujasita-Na

Se presenta como octaedros incoloros bien formados, un hábito poco frecuente en zeolitas, de un tamaño aproximado de 1 mm (FIG. 15, 16, 17 y 18).

Sus espectros Raman concuerdan razonablemente con los de las faujasitas de la base de datos RRUFF en la zona de desplazamiento Raman superior a 300 cm⁻¹ (FIG. 19). Para desplazamientos más bajos las señales de los espectros dependen de los metales presentes.

Zeolitas	<i>n</i>	Raman
Amonioleucita*	1,518	No coincidente
Analcima	1,479-1,493	No coincidente
Chabasitas*	1,460-1,515	No coincidente
Faujasitas	1,466-1,480	Coincidente
Hsianghualita	1,613	No coincidente
Leucita*	1,508-1,511	No coincidente
Pahasapaíta	1,523	-
Paulingitas	1,472-1,484	No coincidente
Pollucita	1,507-1,525	No coincidente
Tschörnerita	1,504	-
Agua Amarga	1,470	

n = índice de refracción.
* Pseudocúbicas.

Figura 20. Comparación de los índices de refracción (*n*) y de los espectros Raman de todas las zeolitas cúbicas (y pseudocúbicas) con los de cristales octaédricos de Agua Amarga, que se corresponden con las faujasitas. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: Adolf Cortel, IZA y proyecto RRUFF.

Ni en este mineral ni en los otros analizados se ha incluido la región con desplazamiento Raman superior a 3000 cm⁻¹ en la que aparecen las vibraciones de los grupos OH como bandas anchas y sin señales definidas, que aportan poca información. En el caso de las faujasitas, la señal hacia 350 cm⁻¹ permite diferenciar su espectro Raman del de otras zeolitas con espectros parecidos.

En el microscopio petrográfico se confirma que el mineral es isótropo, con un índice de refracción muy próximo a 1,470 (para las faujasitas este índice está en el intervalo 1,466-1,480). De las especies de zeolitas cúbicas (y pseudocúbicas), solo las faujasitas tienen unas propiedades compatibles con las de la muestra (FIG. 20).

El análisis SEM-EDS (FIG. 21) indica una ratio promedio Si/(Si+Al) de 0,75, algo más alta que la descrita para las faujasitas (0,68 a 0,73), según la IZA. Los otros elementos químicos, en orden de abundancia (% atómicos), son Na, Ca y K, sin que se haya detectado Mg. Tal como ocurre con la mayoría de las faujasitas descritas, el Na es el catión predominante (Tschernich, 1992) (si bien en una de las muestras la ratio Na/K es próxima a 1), por lo que corresponde a la especie faujasita-Na.

Figura 21. Análisis SEM-EDS (% atómicos y ratios, sin incluir el oxígeno) de muestras de cristales octaédricos, que se corresponden con faujasita-Na. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: CN IGME-CSIC y CCiTUB.

Muestras: cristales octaédricos	% atómicos					Ratios		
	Na	K	Ca	Al	Si	Si/Al	Si/(Si+Al)	(Na+K)/(Na+K+Ca)
A	9,55	0,62	4,96	20,34	64,53	3,17	0,76	0,67
B	10,83	0,50	4,81	20,45	63,41	3,10	0,76	0,70
C	10,86	8,56	0,00	20,92	59,65	2,85	0,74	1,00
Promedio						3,04	0,75	0,79

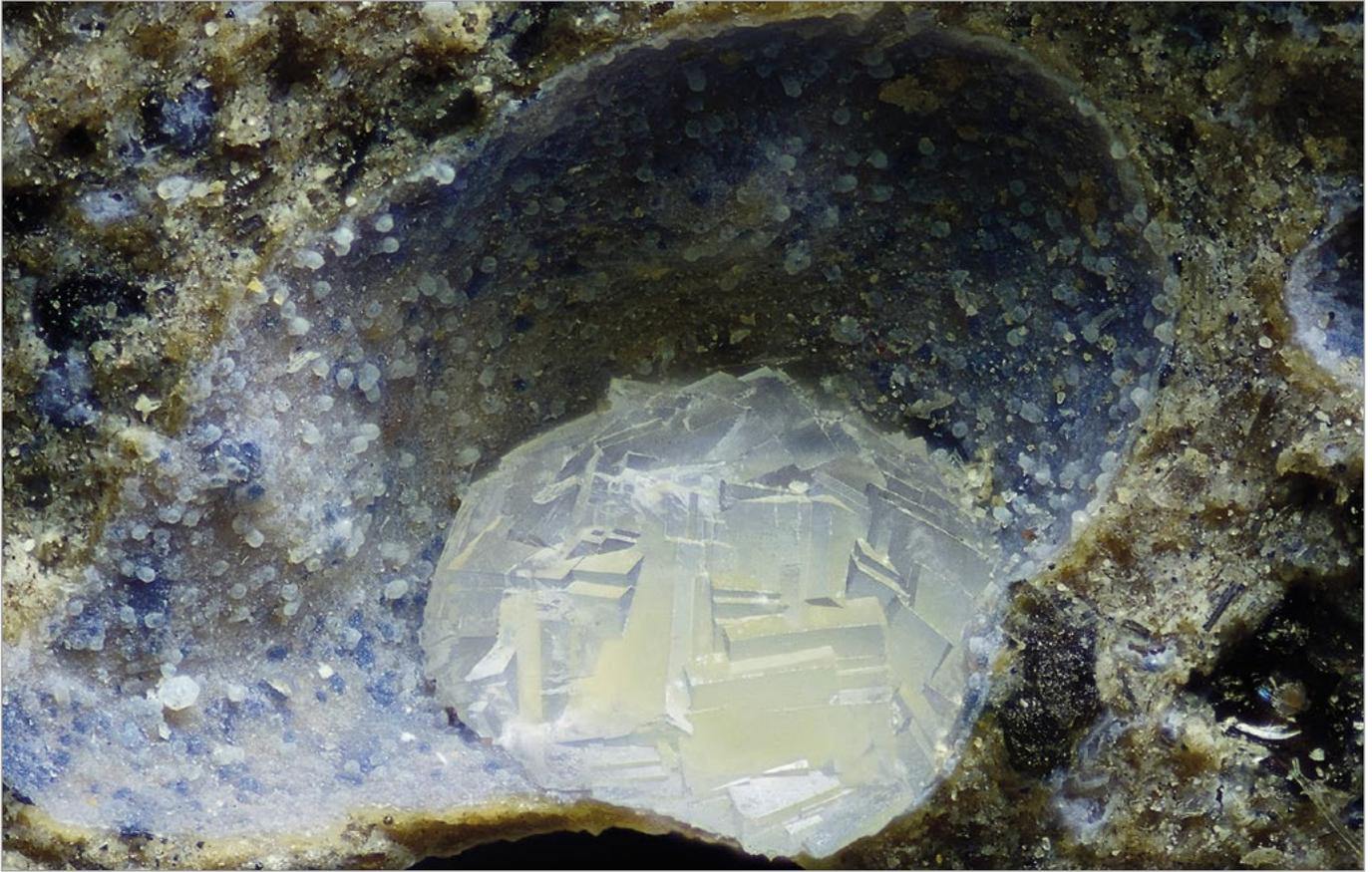


Figura 22. Agregado compacto de cristales cúbicos de paulingita-K. C.V.: 2,2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

Paulingita-K (y paulingita-Na)

Se presentan como pequeños cristales cúbicos que, en algunos casos, están aislados y, en otros, aparecen en drusas o como agregados compactos más o menos esferoidales (FIG. 22, 23 y 24).

En la rotación de la platina del microscopio petrográfico los fragmentos presentan una tenue birrefringencia con colores de interferencia en gris muy oscuro,

lo que sugiere que el mineral es isótropo con algo de birrefringencia debida a tensiones o reflexiones internas de los cristales. El índice de refracción medido es de $1,472 \pm 0,004$, que se corresponde con el de las paulingitas y otras zeolitas cúbicas (o pseudocúbicas).

En función de su espectro Raman (FIG. 25) y de su índice de refracción, sólo puede identificarse como

Figura 23. Imagen SEM de maclas y cristales de hábito cúbico de paulingita-K. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

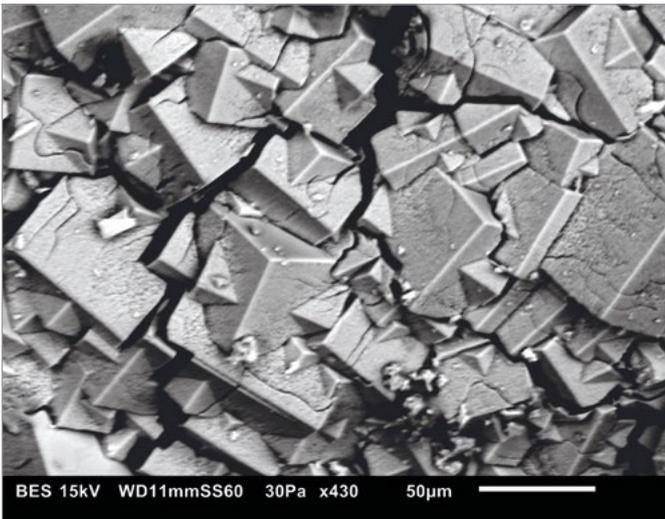
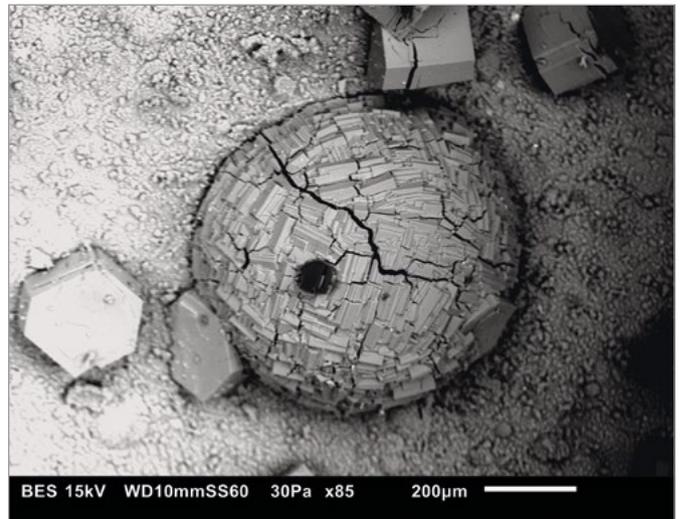


Figura 24. Imagen SEM de un agregado esferoidal de paulingita-K. Colección y foto: CN IGME-CSIC.



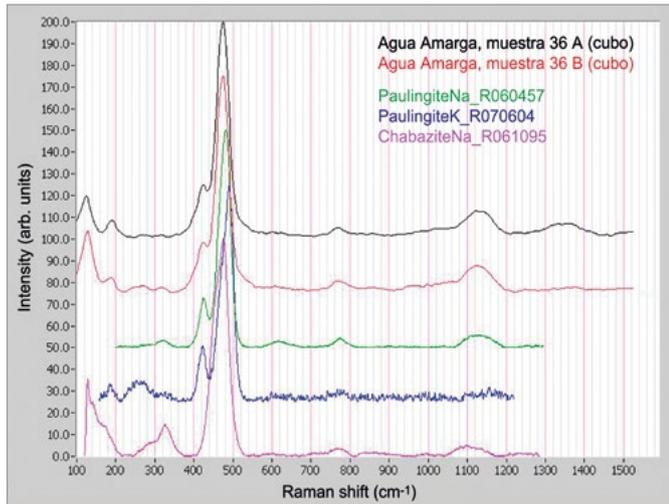


Figura 25. Espectros Raman de dos cristales cúbicos de Agua Amarga, comparados con los de dos paulingitas y una chabasita-Na de la base de datos RRUFF. Fuentes: Adolf Cortel y proyecto RRUFF.

miembro de las series paulingita (FIG. 26). La baja birrefringencia observada sugería que podría tratarse de alguna chabasita, que puede presentarse con hábito pseudocúbico y birrefringencia muy baja, pero el espectro Raman lo descarta.

La composición obtenida mediante SEM-EDS (FIG. 27) indica una ratio promedio Si/(Si+Al) de 0,75, dentro del intervalo descrito para las paulingitas (0,73-0,77). Si bien en el global de muestras analizadas predomina el K, hay un amplio abanico de composiciones con ratios K/Na que van desde 1,9 hasta 0,6, por lo que podemos decir que en realidad se dan ambas especies: paulingita-K i paulingita-Na, a modo de serie con diversos miembros intermedios, en función del predominio de uno u otro catión alcalino. No contiene Mg, ni prácticamente Ca.

Figura 27. Análisis SEM-EDS (% atómicos y ratios, sin incluir el oxígeno) de muestras de cristales cúbicos, que se corresponden con paulingita-K (y -Na). Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: CN IGME-CSIC y CCITUB.

Muestras: cristales cúbicos	% atómicos					Ratios			
	Na	K	Ca	Al	Si	Si/Al	Si/(Si+Al)	(Na+K)/(Na+K+Ca)	K/Na
A	8,78	9,35	0,00	20,40	61,47	3,01	0,75	1,00	1,06
B	6,67	12,59	0,00	19,51	61,23	3,14	0,76	1,00	1,89
C	11,30	7,97	0,00	19,93	60,80	3,05	0,75	1,00	0,71
D	11,07	7,01	1,48	20,66	59,78	2,89	0,74	0,92	0,63
E	6,35	9,64	2,03	19,80	62,18	3,14	0,76	0,89	1,52
A'	7,84	10,63	0,00	21,48	60,05	2,80	0,74	1,00	1,36
B'	8,50	9,79	0,00	21,52	60,19	2,80	0,74	1,00	1,15
C'	8,65	9,00	1,66	21,34	59,35	2,78	0,74	0,91	1,04
Promedio						2,95	0,75	0,96	1,17

Zeolitas	<i>n</i>	Raman
Amonioleucita*	1,518	No coincidente
Analcima	1,479-1,493	No coincidente
Chabasitas*	1,460-1,515	No coincidente
Faujasitas	1,466-1,480	No coincidente
Hsianghualita	1,613	No coincidente
Leucita*	1,508-1,511	No coincidente
Pahasapaíta	1,523	-
Paulingitas	1,472-1,484	Coincidente
Pollucita	1,507-1,525	No coincidente
Tschörnerita	1,504	-
Agua Amarga	1,472	

n = índice de refracción.
* Pseudocúbicas.

Figura 26. Comparación de los índices de refracción (*n*) y de los espectros Raman de todas las zeolitas cúbicas (y pseudocúbicas) con los de cristales cúbicos de Agua Amarga, que se corresponden con las paulingitas. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: Adolf Cortel, IZA y proyecto RRUFF.

Dado que las paulingitas son poco frecuentes y que su forma predominante es casi siempre el rombododecaedro, que aparezcan cristalizadas en cubos es raro, pero no extraordinario, ya que en las bases de datos de Mindat y Mineralienatlas aparecen fotografiados varios ejemplos formando cubos.

Los cubos de paulingita-K que aparecen en la base de datos RRUFF (R070604) se han confirmado mediante DRX. Dado que, de momento, estas paulingitas son muy escasas en el yacimiento de Agua Amarga, no se ha podido confirmar su identificación mediante esta técnica.

Erionita-K

La erionita-K es otra zeolita escasa en el yacimiento, donde aparece como agregados radiados de prismas

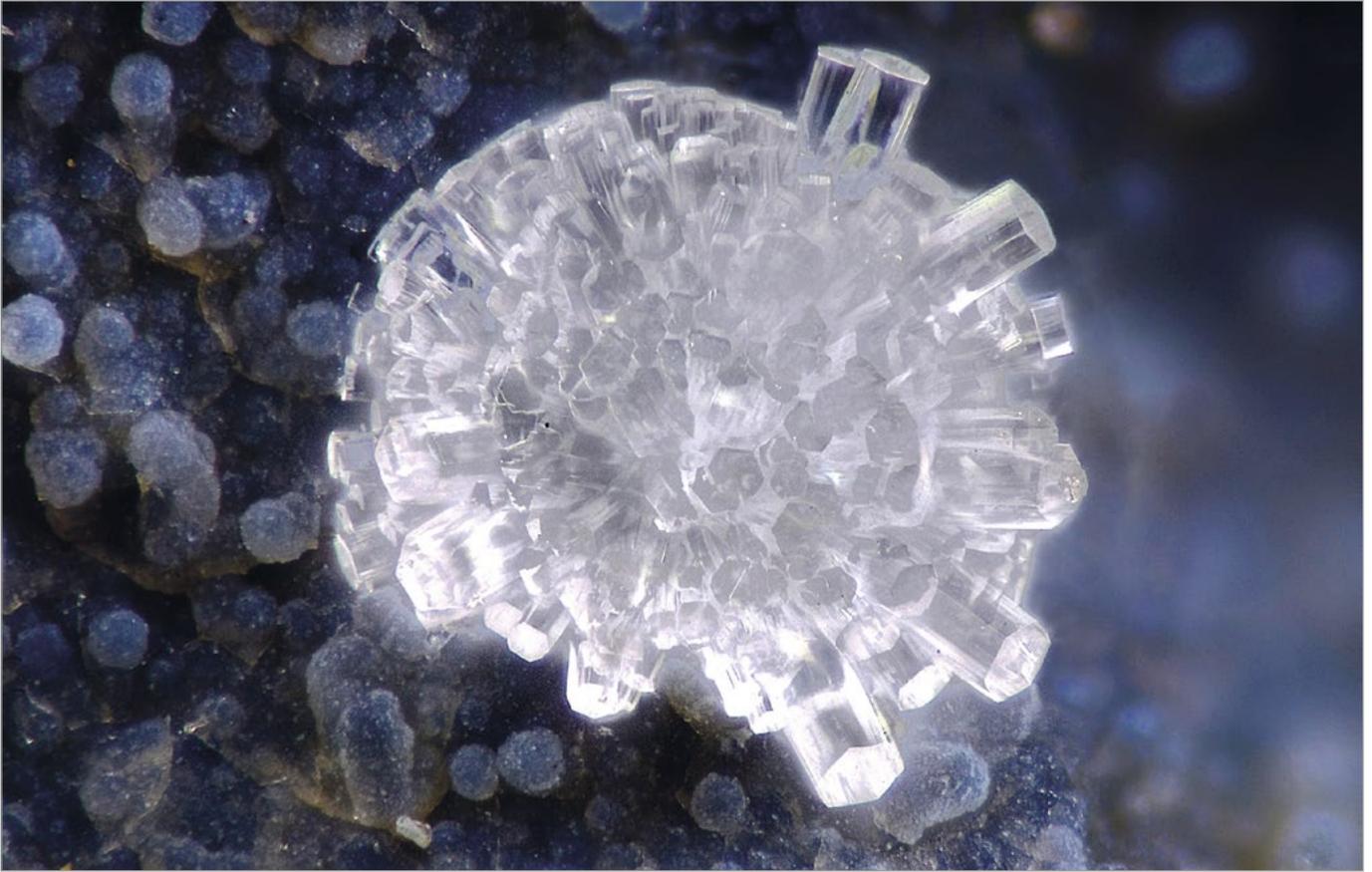


Figura 28. Agregado radiado de cristales prismáticos gruesos de erionita-K. C.V.: 0,5 mm.
Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 29. Agregado radiado de cristales prismáticos finos de erionita-K. C.V.: 0,4 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



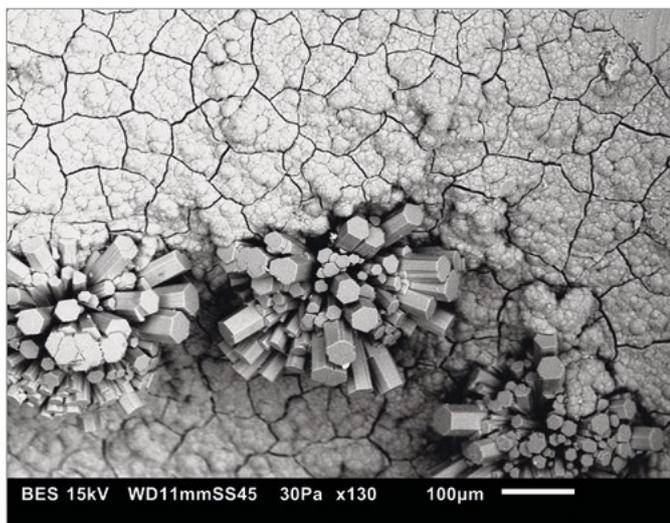


Figura 30. Imagen SEM de tres agregados de cristales prismáticos de erionita-K. Colección y foto: CN IGME-CSIC.



Figura 31. Imagen SEM de un agregado compacto de cristales de erionita-K. Colección y foto: Adolf Cortel.

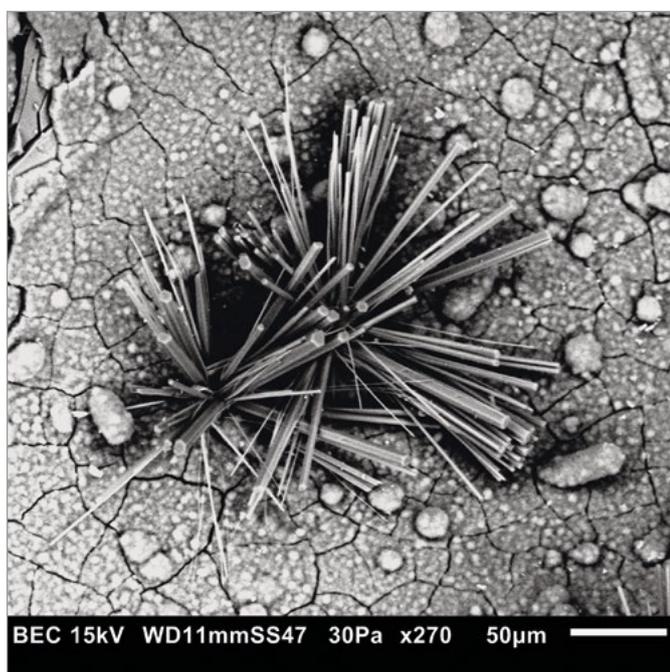
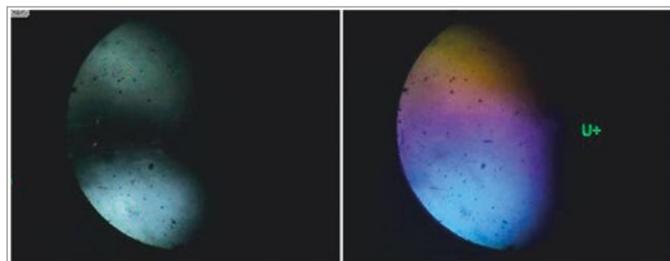


Figura 32. Imagen SEM de dos agregados radiados de cristales aciculares de erionita-K. C.V.: 0,5 mm. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

Figura 33. Figura de interferencia uniaxial con el eje óptico descentrado de un fragmento de un cristal prismático hexagonal de erionita-K. La cuña de cuarzo hace aumentar el retardo en el 3er cuadrante y disminuirlo en el 4º, lo que indica que el signo óptico es (+). Fotos: Adolf Cortel.

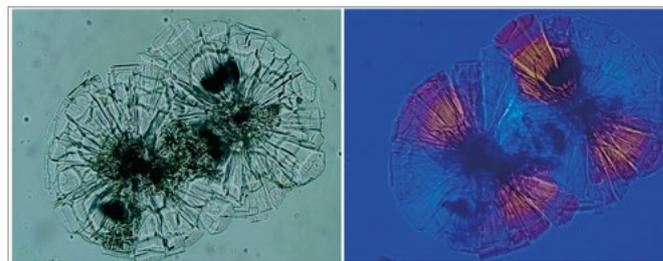


hexagonales, incoloros, con una longitud entre 0,5 y 1 mm y un grosor de 0,1 mm, e incluso más pequeños (FIG. 28, 29 y 30). Los prismas están agregados a veces de manera compacta (FIG. 31) y otras veces a modo de cristales más finos y separados entre sí (FIG. 32). Esta variación hizo pensar que podía tratarse de especies distintas, pero tanto los espectros Raman como las propiedades ópticas de todas las muestras con prismas hexagonales coinciden.

Tal como ocurre con las zeolitas del sistema cúbico, el número de zeolitas del sistema hexagonal es relativamente reducido. En el microscopio petrográfico se han podido encontrar figuras de interferencia uniaxiales de signo positivo (FIG. 33 y 34); el signo se ha confirmado en la elongación de los cristales. La birrefringencia del mineral es muy baja, por lo que el índice de refracción es muy parecido tanto en la dirección del eje óptico como en dirección perpendicular.

El espectro Raman de una muestra (FIG. 35) coincide con el de varias zeolitas que presentan morfología hexagonal (erionitas, levynas, offretita), pero su índi-

Figura 34. Agregado radiado de cristales prismáticos hexagonales de erionita-K en el microscopio petrográfico. A la izquierda, sin analizador. A la derecha, con nicoles cruzados y cuña de cuarzo. La variación en el retardo indica que el índice de refracción en la dirección del eje de los prismas es mayor que en la dirección perpendicular, de modo que la elongación tiene signo (+). Fotos: Adolf Cortel.



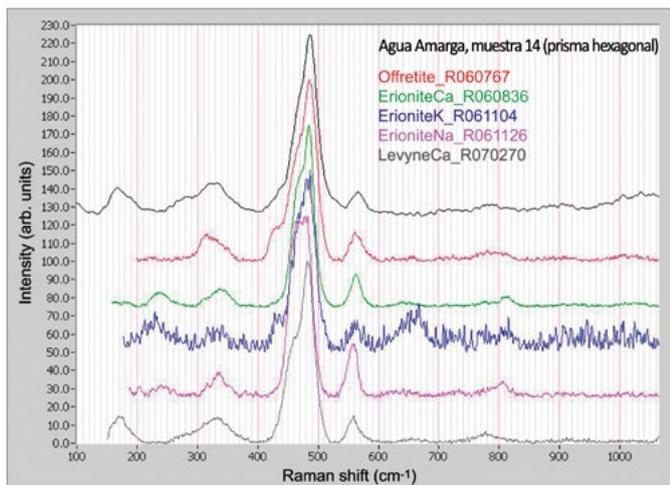


Figura 35. Espectro Raman de un cristal hexagonal de Agua Amarga, comparado con diversos espectros de la base de datos RRUFF. Fuentes: Adolf Cortel y proyecto RRUFF.

Zeolitas	<i>n</i>	Signo óptico	Raman
Bellbergita	1,522-1,507	U (-)	No coincidente
Erionitas	1,455-1,480	U (+)**	Coincidente
Gmelinitas	1,470-1,474	U (+) o (-)	No coincidente
Levynas*	1,489-1,502	U (-)	Coincidente
Mazzitas	1,499-1,500	U (-)	-
Offretita	1,489-1,495	U (+) o (-)	Coincidente
Perlialita	1,479-1,489	U (+)	-
Agua Amarga	1,477	U (+)	

n = índice de refracción.
 * Trigonal (hexagonal escalenoédrica).
 ** El signo puede ser (-) si la ratio Si/Al es baja.

Figura 36. Comparación de los índices de refracción (*n*), signos ópticos y espectros Raman de las zeolitas de morfología hexagonal con los de cristales hexagonales de Agua Amarga, que se corresponden con las erionitas. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: Adolf Cortel, IZA y proyecto RRUFF.

ce de refracción (1,477) permite descartar levynas y offretita. La comparativa de especies hexagonales, incluyendo el signo óptico, aparece en la tabla de la FIG. 36 (las levynas son en realidad trigonales, con clase de simetría hexagonal escalenoédrica). Las erionitas son uniáxicas con signo (+) y, según la IZA, tienen índices de refracción con valores entre 1,455 y 1,480. En la base de datos de la IZA se ha descrito que el signo óptico de las erionitas puede ser negativo cuando la ratio Si/Al es baja, algo que no ocurre en nuestro caso.

En función del análisis SEM-EDS (FIG. 37), la ratio promedio Si/(Si+Al) es de 0,77, que está dentro del intervalo descrito para las erionitas (0,69-0,79). Las propiedades ópticas también son compatibles con las de la perlialita, igualmente hexagonal, cuyo espectro Raman no se ha descrito (se trata de una zeolita muy rara), pero la ratio Si/(Si+Al) de esta especie es más baja (0,65-0,67).

A diferencia de las zeolitas determinadas hasta ahora, en este caso hay cantidades significativas de Ca y Mg, aunque globalmente predominan claramente los cationes alcalinos. Entre estos el predominio corresponde al K (excepto una muestra en la que predomina por muy poco el Na), por lo que podemos identificar el mineral como erionita-K (puede darse que haya más muestras que se correspondan con erionita-Na y, a modo de serie, tengamos un caso como el de las paulingitas).

Debido a la escasa cantidad de muestra encontrada en el yacimiento, no ha sido posible confirmar la especie mediante DRX.

Phillipsita-Na

De todas las especies de zeolitas del yacimiento, la phillipsita-Na es la más abundante. Se presenta raramente como cristales sencillos y, casi siempre,

Figura 37. Análisis SEM-EDS (% atómicos y ratios, sin incluir el oxígeno) de muestras de cristales hexagonales, que se corresponden con erionita-K. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: CN IGME-CSIC y CCITUB.

Muestras: cristales hexagonales	% atómicos						Ratios			
	Na	K	Ca	Mg	Al	Si	Si/Al	Si/(Si+Al)	(Na+K)/(Na+K+Ca+Mg)	K/Na
A	3,64	6,45	2,81	1,98	18,95	66,16	3,49	0,78	0,78	1,77
B	2,66	7,88	2,89	1,63	18,44	66,50	3,61	0,78	0,78	2,96
C	5,05	5,95	2,18	1,65	20,05	65,12	3,25	0,76	0,83	1,18
A'	4,41	6,59	1,71	2,18	19,78	65,32	3,30	0,77	0,87	1,49
B'	2,70	8,14	2,84	1,93	18,71	65,69	3,51	0,78	0,79	3,01
C'	6,00	5,40	1,61	2,03	19,99	64,97	3,25	0,76	0,88	0,90
Promedio							3,40	0,77	0,82	1,89



Figura 38. Grupo de cristales maclados de phillipsita-Na. C.V.: 4 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 39. Agregados divergentes de cristales de phillipsita-Na. C.V.: 4 mm.
Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



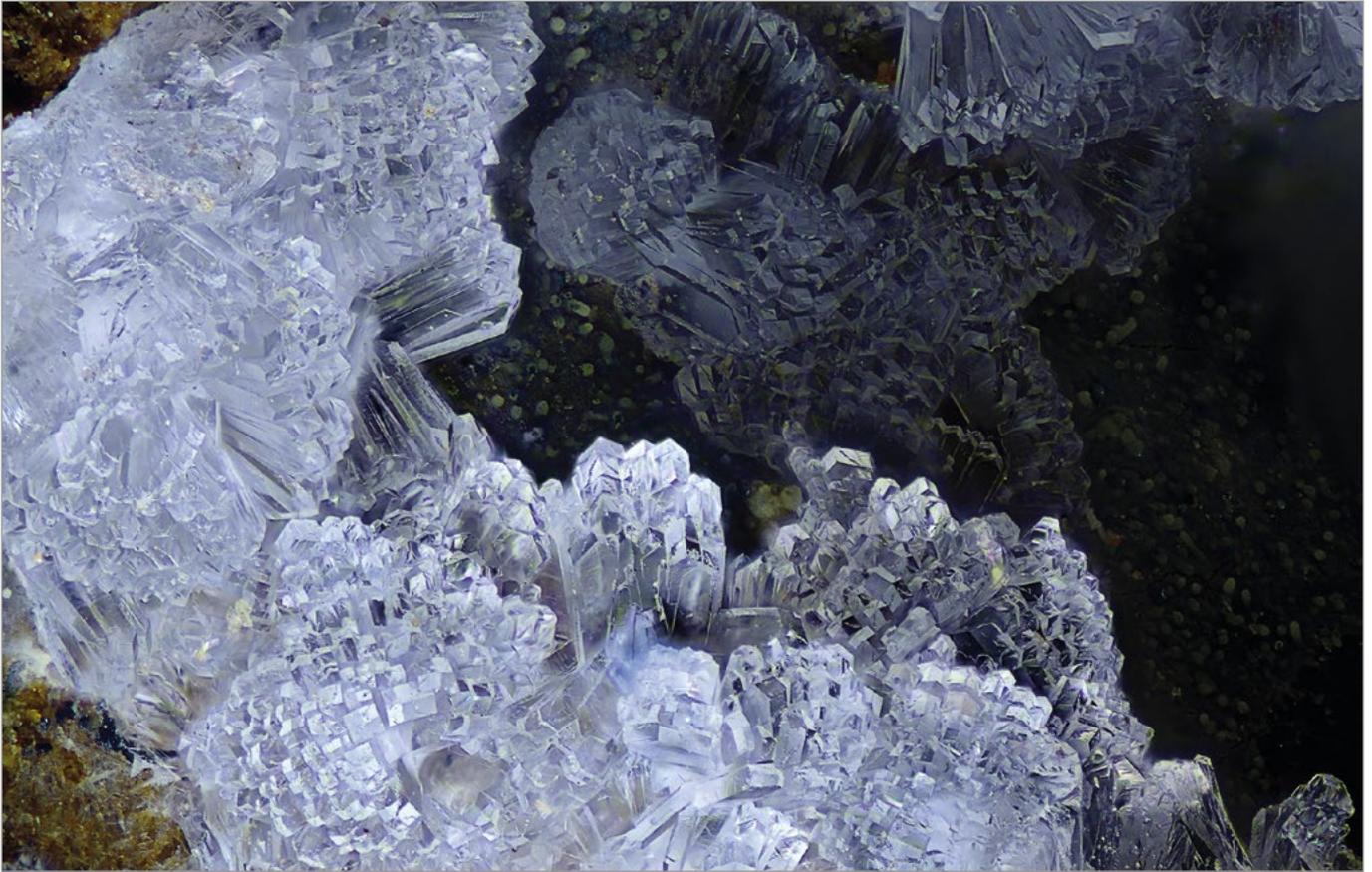


Figura 40. Agregados en paralelo de cristales de phillipsita-Na. C.V.: 2,2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

Figura 41. Agregado de cristales maclados de phillipsita-Na. C.V.: 2 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



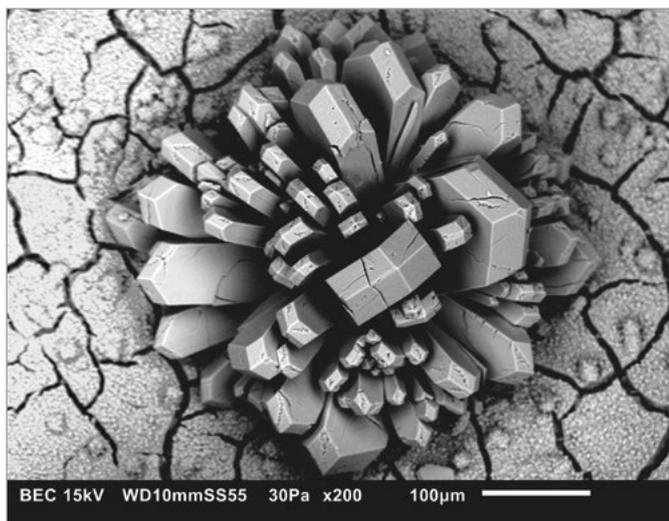


Figura 42. Imagen SEM de una roseta de cristales de phillipsita-Na. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

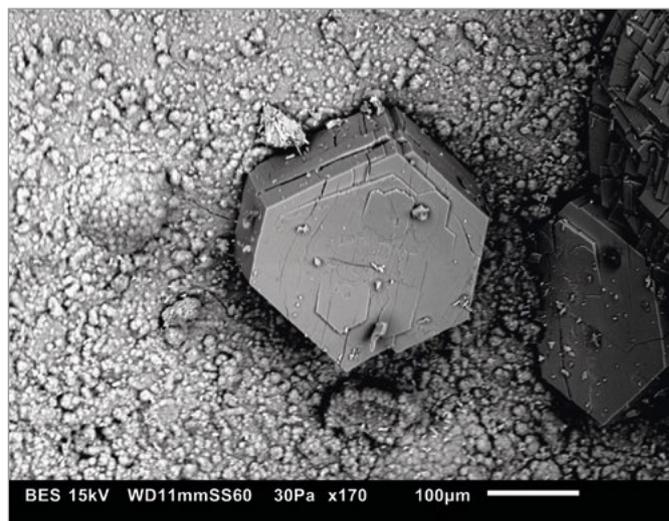


Figura 43. Imagen SEM de una macla pseudo-hexagonal de phillipsita-Na. C.V.: 0,7 mm. Colección y foto: CN IGME-CSIC.

Figura 44. Agregado en "huevo frito" de cristales de phillipsita-Na. C.V.: 1,5 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



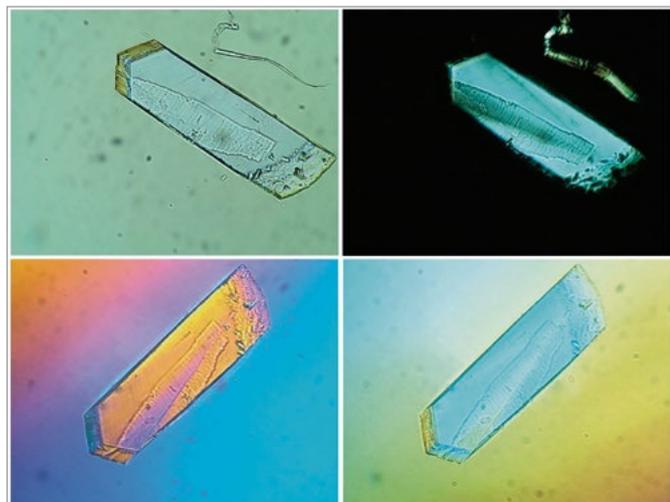


Figura 45. Cristal sencillo de phillipsita-Na en el microscopio petrográfico. Arriba izquierda: sin analizador; arriba derecha: con polarizadores cruzados (se observa la baja birrefringencia del mineral); abajo: el gradiente de colores con polarizadores cruzados y la cuña de cuarzo introducida en dos posiciones permite observar que el signo de elongación es negativo. Fuente: Adolf Cortel.

formando maclas de compenetración simples (de dos individuos, con la típica terminación en cuatro caras más o menos rómbicas) (FIG. 38), que a su vez se pueden unir, dando como resultado cristales maclados más complejos (de cuatro a doce individuos), que suelen presentarse en drusas o como agregados en paralelo a divergentes y como rosetas (FIG. 39, 40, 41 y 42); más rara como maclas pseudo hexagonales (FIG. 43). En ocasiones, los agregados de cristales son más o menos semiesféricos y presentan un núcleo interno de color amarillento, por lo que adquieren el aspecto de minúsculos “huevos fritos” (FIG. 44). Los espectros Raman y los índices de refracción resultaron muy parecidos en todas las muestras con estas morfologías.

Las propiedades ópticas indican que el mineral es biáxico (-) y tiene muy baja birrefringencia (FIG. 45);

mientras que los índices de refracción son muy próximos a 1,49, dentro del intervalo propio de las phillipsitas (1,48-1,51). Los espectros Raman de las phillipsitas son similares a los de otras zeolitas (paulingitas, merlinoíta, garronitas y dachiarditas).

Del análisis mediante SEM-EDS (FIG. 46) resulta una ratio promedio Si/(Si+Al) de 0,75, que está en el intervalo que se ha documentado para las phillipsitas (0,55 a 0,77) (Passaglia y Sheppard, 2001). Respecto al contenido de metales alcalinotérreos, en ninguno de los análisis realizados se ha encontrado Ca, ni tampoco Mg. Entre los metales alcalinos predomina el Na (en dos muestras la ratio Na/K es próxima a 1). No es excepcional que la phillipsita-Na carezca de Ca; en este caso, como ya se ha indicado, es posible que la formación de anortita y piroxenos ricos en calcio en el magma haya reducido la concentración de este elemento químico en el fluido hidrotermal que finalmente dio lugar a estas zeolitas.

Es de destacar que, según la IZA, de todas las zeolitas, las phillipsitas son probablemente las que presentan una mayor variabilidad en la composición y en ambientes genéticos (FIG. 47).

Entre las posibles especies candidatas en función de los espectros Raman: las paulingitas se descartan, ya que pertenecen al sistema cúbico; la merlinoíta presenta un hábito similar al de las phillipsitas, pero su birrefringencia es bajísima y su ratio Si/(Si+Al) queda por debajo (0,62 a 0,71) que la que se ha medido (entre 0,74 y 0,76); las dachiarditas y las garronitas tienen propiedades ópticas parecidas pero sus hábitos no coinciden con los de las muestras estudiadas. Todo ello deja a una phillipsita como candidata más plausible. Finalmente, debido al predominio de Na, se trataría de phillipsita-Na.

Dada la relativa abundancia de esta zeolita entre las que se encuentran en el yacimiento, se ha podido disponer de la cantidad de muestra suficiente para confirmar su identificación mediante difracción de rayos X (FIG. 48).

Figura 46. Análisis SEM-EDS (% atómicos y ratios, sin incluir el oxígeno) de muestras de cristales que se corresponden con phillipsita-Na. Tabla: elaboración propia y José Luis Garrido; fuentes: CN IGME-CSIC y CCITUB.

Muestras: cristales maclados	% atómicos					Ratios			
	Na	K	Ca	Al	Si	Si/Al	Si/(Si+Al)	(Na+K)/(Na+K+Ca)	Na/K
A	13,39	6,16	0,00	21,10	59,35	2,81	0,74	1,00	2,17
B	9,84	8,40	0,00	20,83	60,93	2,93	0,75	1,00	1,17
C	9,81	7,73	0,00	20,12	62,34	3,10	0,76	1,00	1,27
A'	11,89	4,72	0,00	20,11	63,28	3,15	0,76	1,00	2,52
B'	11,96	4,57	0,00	19,63	63,84	3,25	0,76	1,00	2,62
C'	10,84	4,83	0,00	19,93	64,41	3,23	0,76	1,00	2,24
Promedio						3,08	0,75	1,00	2,00

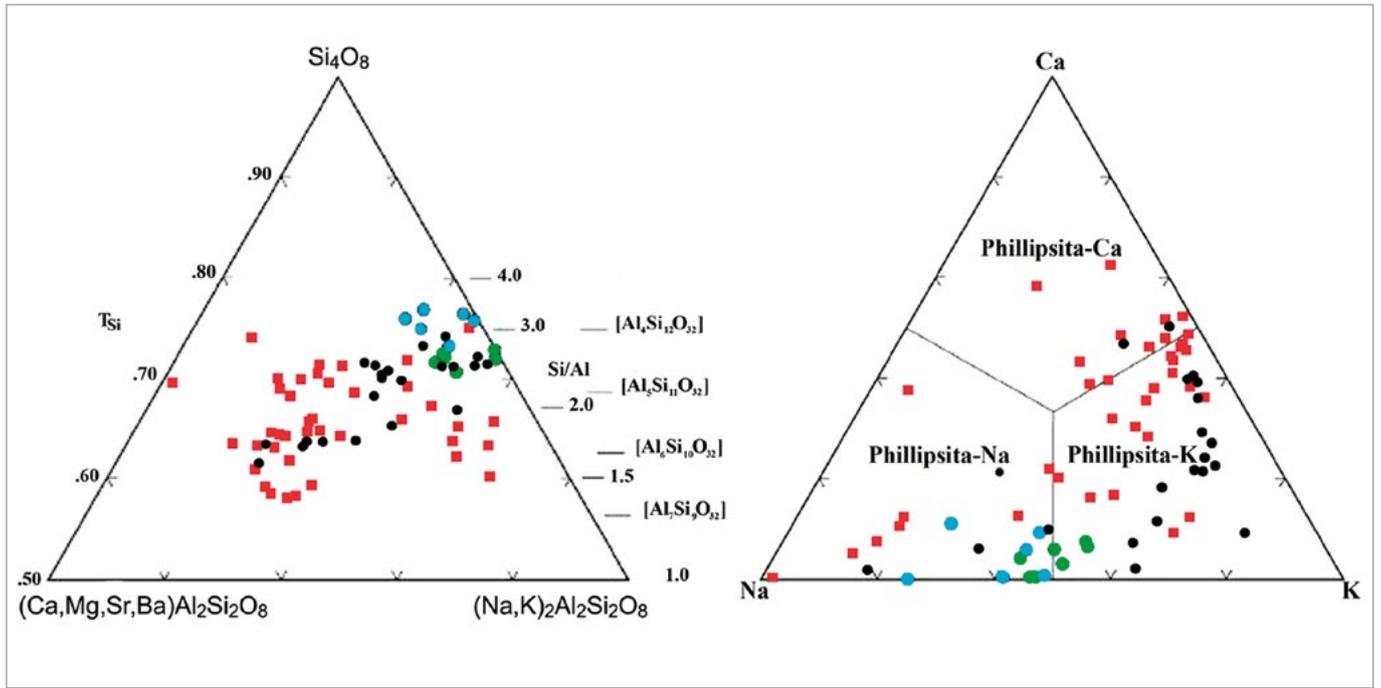
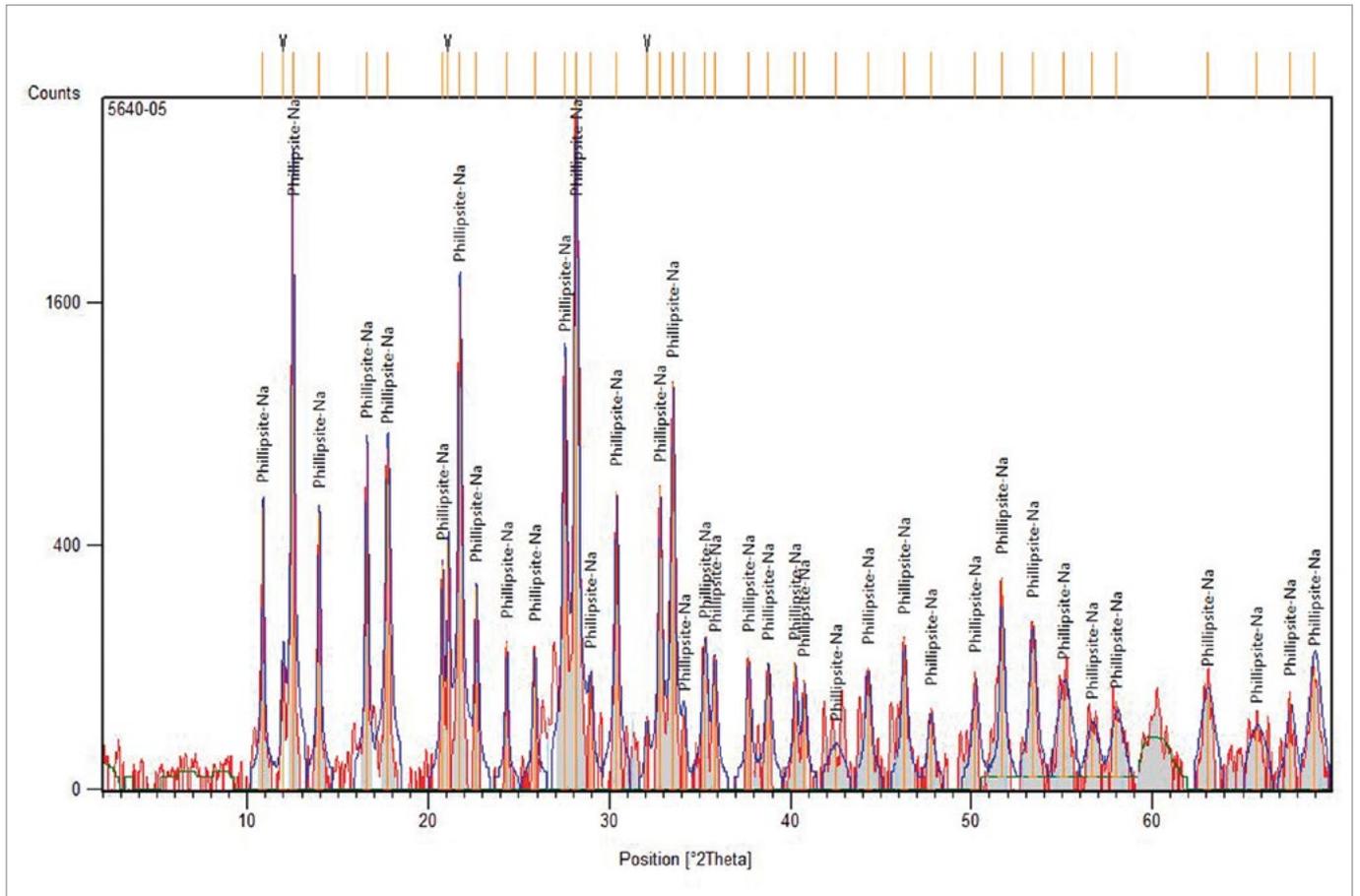


Figura 47. Rango composicional en phillipsitas naturales. Izquierda: las phillipsitas de origen volcánico, son, en general, más pobres en Si, mientras que las procedentes de sedimentos salinos y marinos, así como de rocas piroclásticas, son más ricas en Si y en álcalis. Derecha: la phillipsita-Ca predomina en ambientes volcánicos, mientras que la potásica y la sódica se dan en distintos ambientes genéticos. Cuadrados rojos = vesículas en rocas basálticas; círculos de varios colores = rocas sedimentarias alteradas diagenéticamente (negros = depósitos piroclásticos potásicos, azules = sedimentos de lagos alcalinos, verdes = sedimentos marinos). Fuente: International Zeolite Association (IZA).

Figura 48. Difractograma de la phillipsita-Na de Agua Amarga. Fuente: CN IGME-CSIC.



CONCLUSIONES

Para el estudio de un yacimiento de zeolitas en las proximidades de Agua Amarga ha sido necesario utilizar distintas técnicas, para poder caracterizar las especies minerales presentes. Las muestras han sido estudiadas al microscopio petrográfico, lo que ha permitido observar los caracteres texturales, la figura de interferencia y el signo óptico; se ha medido el índice de refracción; se han realizado análisis mediante microscopía electrónica de barrido, espectroscopía Raman y difracción de rayos X. Como consecuencia de la utilización de estas técnicas se han identificado

algunas zeolitas con cristales bien conformados: faujasita-Na, que se presenta en forma de octaedros de aproximadamente 1 mm; paulingita-K (y -Na), cristalizada en pequeños cubos; erionita-K, que forma prismas hexagonales inferiores a 1 mm de longitud; y phillipsita-Na, la más abundante, que se presenta normalmente maclada formando drusas y agregados esferoidales de cristales. Junto a estas zeolitas se han observado otras que no ha sido posible caracterizar, debido a su escasez y a la pobre cristalinidad que presentan, aunque serán objeto de otro estudio cuando se disponga de la suficiente muestra para analizar.

Agradecimientos

A José María Boloix Travería, por mostrarnos la localización del yacimiento de zeolitas de Agua Amarga, y a José Ignacio Ramos Mantas, por animarnos a escribir este artículo, por su generosidad y atención al aportar la mayor parte de las muestras para el análisis y fotografiado y por acompañarnos al yacimiento. A Bartolomé Rodríguez Merchán, por facilitarnos algunas muestras para su análisis.

A Berta Ordóñez Casado, de los laboratorios del CN IGME-CSIC en Tres Cantos (Madrid), por la atención prestada en la realización de los análisis de SEM-EDS.

A Begoña del Moral González, por su ayuda en la determinación mediante DRX de la phillipsita-Na.

Al Dr. Tariq Jawhari, de los Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB), por realizar los espectros Raman. La utilización de los servicios de los CCiTUB se ha llevado a cabo gracias al convenio que el Grup Mineralògic Català tiene con la Universitat de Barcelona.

A José Luis Garrido, por la revisión general del artículo.

Referencias

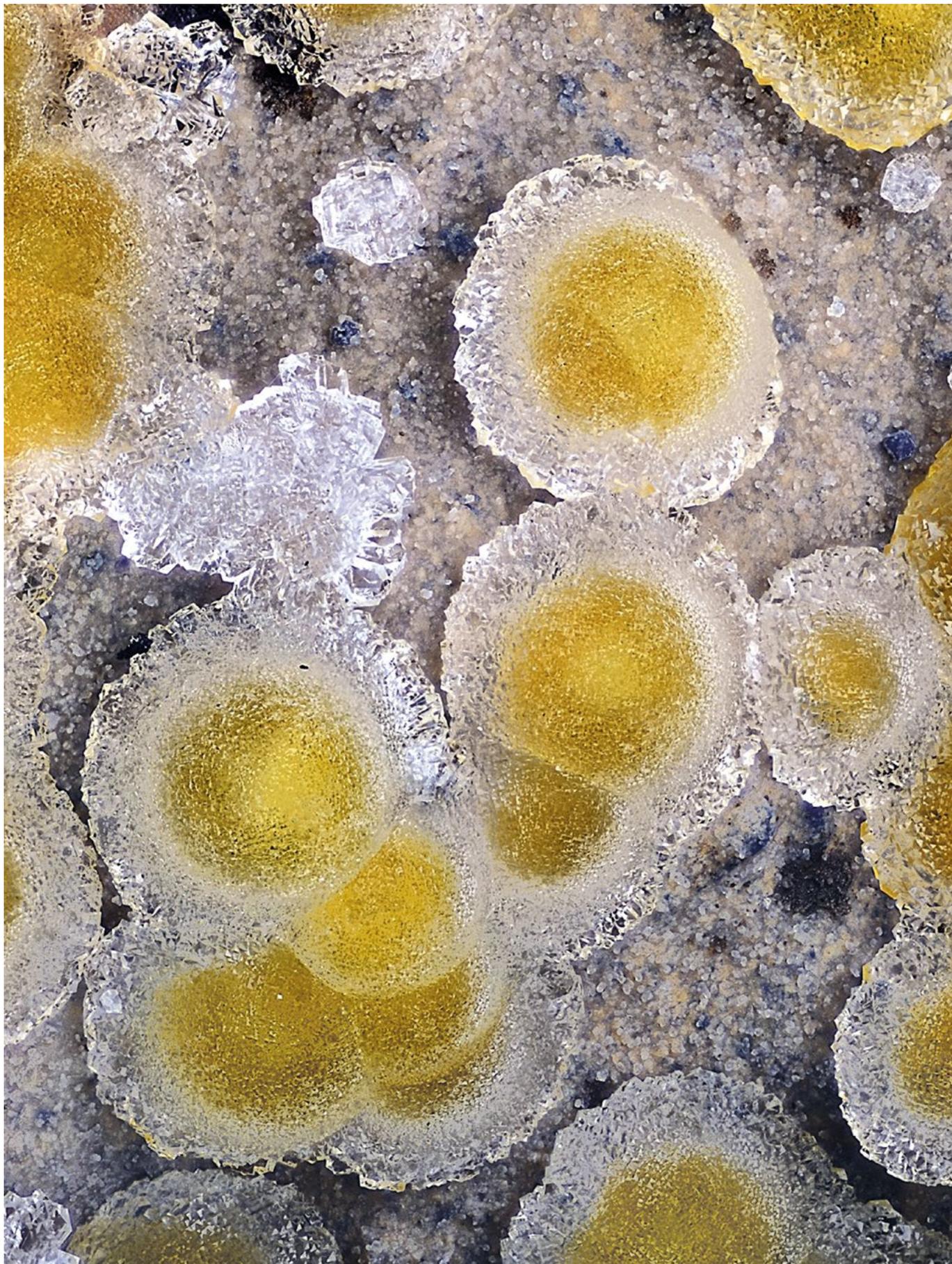
- BELLON, H.; BORDET, P.; MONTENAT, C. (1983). «Chronologie du magmatisme néogène des Cordillères Bétiques (Espagne méridionale)». *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 25, pp. 205-217.
- BELLON, H.; BROUSSE R. (1977). «Le magmatisme périméditerranéen occidental. Essai de synthèse». *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 19, pp. 469-480.
- BENITO, R.; GARCÍA, J.; VALLE, F. J. (1997). “Mineralogía y geoquímica del yacimiento de mordenita de Los Escullos (Cabo de Gata)”. En: Navarro, A, y García, L. (Eds.). *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses; pp. 291-306.
- BISH, D. L.; MING, D.W. (Eds.) (2001). «Natural Zeolites: Occurrence, properties, Applications». *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 45.
- CABALLERO, E.; REYES, E.; YUSTA, A.; HUERTAS, F.; LINARES, J. (1985). “Las bentonitas de la zona sur de Cabo de Gata (Almería). Geoquímica y mineralogía”. *Acta Geológica Hispánica*, vol. 20, núm. 3-4, pp. 267-287.
- CALDERÓN, S. 1910. *Los Minerales de España*. Madrid: Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas; tomo II, pp. 482-485.
- CALVO REBOLLAR, M. (2018). *Minerales y Minas de España. Volumen IX: Silicatos*. Madrid: ETS de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo; pp. 625-672.
- CHIPERA, S.V.; APPS, J.A. (2001). “Geochemical stability of natural zeolites”. En: BISH, D.L. y MING, D.W. (Eds.). *Natural Zeolites: Occurrence, properties, Applications. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 45, pp. 117-157.
- COOMBS, D. S.; ALBERTI, A.; ARMBRUSTER, T.; ARTIOLI, G.; COLELLA, C.; GALLI, E.; GRICE, J. D.; LIEBAU, F.; MANDARINO, J. A.; MINATO, H.; NICKEL, E. H.; PASSAGLIA, E.; PEACOR, D. R.; QUARTIERI, S.; RINALDI, R.; ROSS, M. I.; SHEPPARD, R. A.; TILLMANN, E.; VEZZALINI, G. (1997). “Recommended nomenclature for zeolite minerals. Report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names”. *The Canadian Mineralogist*, vol. 35, pp. 1571-1606.

- DEL VALLE GONZÁLEZ, A.; GONZÁLEZ CESTEROS, V. (1990). *Guía de Minerales de España. Tomo IV: Silicatos y Apéndices*. Valladolid: Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Valladolid; pp. 415-431.
- DI BATTISTINI, G.; TOSCANI, L.; IACCARINO, S.; VILLA, J. M. (1987). "K/Ar ages and the geological setting of calc-alkaline volcanic rocks from Sierra de Gata, SE Spain". *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, vol. 8, pp. 369-383.
- DUGGEN, S.; HOERNLE, K.; VAN DEN BOGAARD, P.; GARBE-SCHÖNBERG, D. (2005). "Post-collisional transition from subduction to intraplate-type magmatism in the westernmost Mediterranean: Evidence for continental-edge delamination of subcontinental lithosphere". *Journal of Petrology*, vol. 46, pp. 1155-1201.
- LÓPEZ RUIZ, J.; CEBRIÁ, J. M.; DOBLAS, M.; BENITO, R. (2004). "La región volcánica de Almería-Murcia". En: Vera, J. A. (Ed.). *Geología de España*. Madrid: IGME-SGE; pp. 678-682.
- LÓPEZ RUIZ, J.; RODRÍGUEZ BADIOLA, E. (1980). "La región volcánica neógena del sureste de España". *Estudios Geológicos*, vol. 36, pp. 5-63.
- MARTÍN VIVALDI, J. L.; LÓPEZ AGUAYO, F. (1975). "Presencia de mordenita en un yacimiento de bentonita de la región de Cabo de Gata (Almería)". *Boletín Geológico y Minero*, vol. 86, núm. 2, pp. 59-64.
- NOBEL, F. A.; ANDRIESEN, P. A. M.; HEBEDA, E.H.; PRIEM, H. N. A.; RONDEEL, H. E. (1981). "Isotopic dating of the post-alpine neogene volcanism in the Betic Cordilleras, southern Spain". *Geologie en Mijnbouw*, vol. 60, pp. 209-214.
- PASSAGLIA, E.; SHEPPARD, R.A. (2001). "The crystal chemistry of zeolites". En BISH D. L. y MING D. W. (Eds.). *Natural Zeolites: Occurrence, properties, Applications. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 45, pp. 69-104.
- SCOTNEY, P.; BURGESS, R.; RUTTER, E. H. (2000). "⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Cabo de Gata volcanic series and displacements on the Caboneras fault zone, SE Spain". *Journal of the Geological Society*, vol. 157, pp. 1003-1008.
- SORIANO, C.; CAS, R. A. F.; RIGGS, N. R.; GIORDANO, G. (2016). "Submarine volcanism of the Cabo de Gata magmatic arc in the Betic-Rif Orogen, SE Spain: processes and products". En Károly Németh (Ed.). *Updates in Volcanology - From Volcano Modelling to Volcano Geology*; cap. 12, pp. 325-354.
- TSAI, Y. L.; HUANG, E.; LI, H. Y.; HUNG, H. T.; JIANG, J. H.; LIU, T. C.; FANG, J. N.; CHEN, H. F. (2021). "Raman Spectroscopic Characteristics of Zeolite Group Minerals". *Minerals 2021*, vol. 11, p. 167.
- TSCHERNICH, T. S. (1992). *Zeolites of the world*. Phoenix (Arizona, EE.UU.): Geoscience Press.
- TURNER, S. P.; PLATT, J. P.; GEORGE, R. M. M.; KELLEY, S. P.; PEARSON, D. G.; NOWELL, G. M. (1999). "Magmatism associated with orogenic collapse of the Betic-Alboran Domain, SE Spain". *Journal of Petrology*, vol. 40, pp. 1011-1036.

Webs consultadas

- Web de la base de datos Mindat [consulta: marzo 2021 a enero 2022]. En <<https://www.mindat.org>>.
- Web de la base de datos Mineralienatlas [consulta: marzo 2021 a enero 2022]. En <<https://www.mineralienatlas.de>>.
- Web de la base de datos Webmineral [consulta: marzo 2021 a enero 2022]. En <<http://webmineral.com>>.
- Web de la International Zeolite Association (IZA), Commission on Natural Zeolites [consulta: marzo 2021 a marzo 2022]. En <<http://www.iza-online.org/natural/default.htm>>.
- Web del Foro de Mineralogía Formativa (FMF) [consulta: enero 2022]. En <<https://www.foro-minerales.com>>.
- Web del proyecto RRUFF [consulta: marzo 2021 a enero 2022]. En <<https://rruff.info>>.

FECHA RECEPCIÓN: 05-04-22. FECHA ACEPTACIÓN: 08-04-22. FECHA INICIO EDICIÓN: 11-04-22.



Agregados en "huevo frito" de cristales de phillipsita-Na de Agua Amarga. C.V.: 2,7 mm. Colección: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.