

Les zeolites d'Agua Amarga, Níjar, Almeria, Andalusia

Ramón JIMÉNEZ MARTÍNEZ

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

Adolf CORTEL ORTUÑO

Grup Mineralògic Català
Olesa de Montserrat, Barcelona, Espanya
adolfo.cortel@gmail.com

José GONZÁLEZ DEL TÁNAGO

Fac. Ciències Geològiques, UCM
Madrid, Espanya
tanago@geo.ucm.es

M. Pilar HERNÁNDEZ PINILLA

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

Juan Miguel SEGURA MARTÍNEZ

Autor independent
Almeria, Espanya
juanmisegura@gmail.com

Josep A. SOLDEVILLA GONZÁLEZ

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

RESUM

En aquest article s'estudia un jaciment de zeolites localitzat prop del poble d'Agua Amarga, pertanyent al municipi d'Almeria de Níjar. El jaciment està situat en l'àrea volcànica del Cabo de Gata, presentant-se les zeolites emplenant vesícules en una andesita piroxénica.

La complexitat en la caracterització d'aquests minerals, unit a l'escassetat d'alguna d'aquestes zeolites, ens ha portat a complementar les anàlisis SEM-EDS i Raman amb la mesura de les propietats òptiques. D'aquesta forma s'han pogut identificar les zeolites següents: faujasita-Na, paulingita-K (i -Na), erionita-K i phillipsita-Na. La identificació de la phillipsita-Na s'ha confirmat amb DRX.

PARAULES CLAU

Agua Amarga; Cabo de Gata; Almeria; zeolites; 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. Pilar; SEGURA MARTÍNEZ, Juan Miguel; SOLDEVILLA GONZÁLEZ, Josep A. (2022): "Les zeolites d'Agua Amarga, Níjar, Almeria, Andalusia". *Mineralogistes de Catalunya*, vol. 14, núm. 3 (2022-1), pp. 3-24.

INTRODUCCIÓ

A la província d'Almeria, concretament a l'entorn del Cabo de Gata, a Níjar, està localitzat un complex volcànic l'activitat del qual es va produir durant el Miocè mitjà i superior. El resultat d'aquesta activitat es pot observar en els nombrosos afloraments volcànics existents, on predominen les andesites, tant amfibòliques com piroxèniques. En aquestes andesites s'han produït processos d'alteració hidrotermal que, entre altres conseqüències, han donat lloc a la formació de diverses espècies de zeolites.

En aquest treball s'ha centrat l'atenció sobre un aflorament situat a uns 4 km al nord-oest d'Agua Amarga,

en el nord del terme municipal de Níjar, on s'han recol·lectat zeolites amb cristalls idiomorfs ben definits i que per això han pogut ser ben identificades. Aquestes zeolites apareixen al costat d'altres més escasses i pitjor cristal·litzades que, a causa de la complexitat de la seva caracterització, seran objecte d'un altre estudi posterior.

ANTECEDENTS

La presència de zeolites s'ha citat en l'àrea volcànica del Cabo de Gata, municipi de Níjar, des d'inicis del segle XX. Així, Salvador Calderón, el 1910 i dins de la seva obra *Els Minerals d'Espanya*, assenyala la presència de natrolita a les andesites del Cabo de Gata.

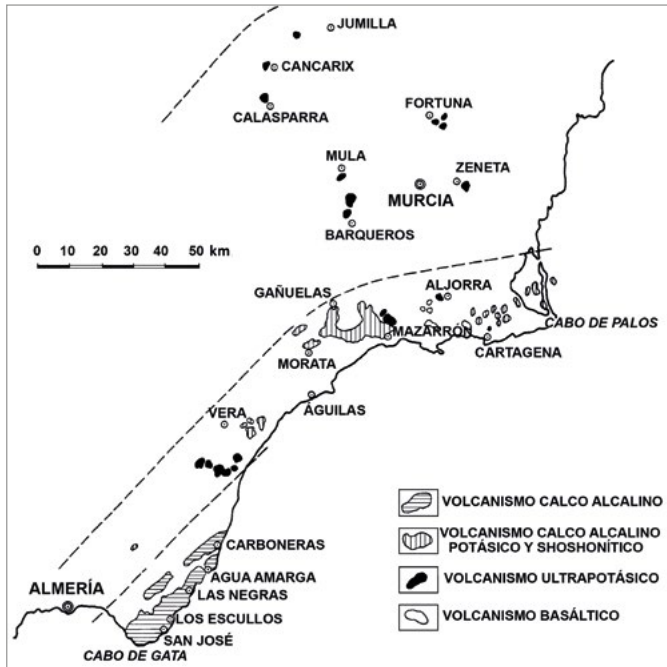


Figura 1. Distribució del vulcanisme neogen en el sud-est espanyol. Font: López Ruiz i Rodríguez Badiola, 1980.

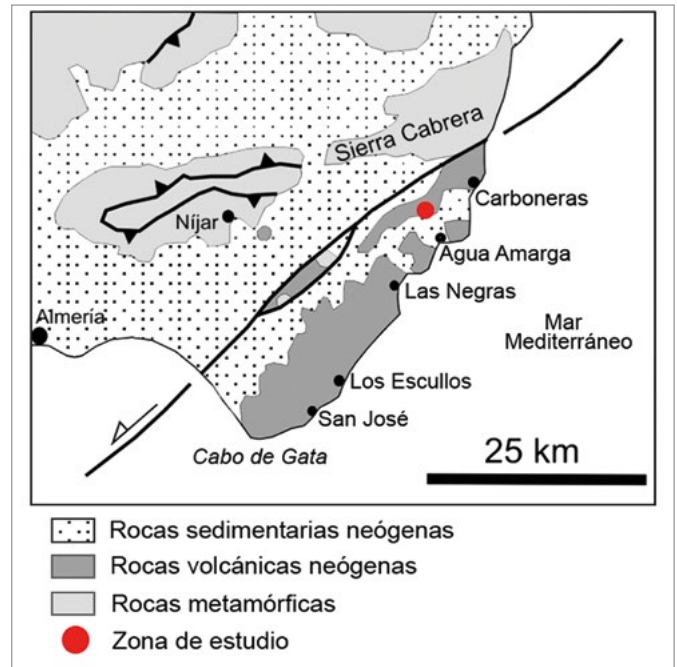


Figura 2. Mapa geològic simplificat de la zona del Cabo de Gata. Font: modificat de Soriano *et al.*, 2016.

Posteriorment, la mordenita és la zeolita d'aquesta zona que amb major profusió ha estat referenciada:

- Martín Vivaldi i López Aguayo (1975) la citen en un jaciment de bentonita al Morrón de Mateo, prop de Los Escullos;
- Caballero *et al.* (1985) l'assenyalen, al costat d'altres zeolites, també a la zona de Los Escullos (Morrón de Mateo, Loma Pelada i Cortijo de la Loma) i també al sud-oest i oest d'Agua Amarga (Rambla Vieja i Rambla de Méndez);
- Del Valle González i González Cesteros (1990) la situen als jaciments de bentonita;
- Benito *et al.* (1997) la detallen en un estudi sobre

la mineralogia i geoquímica igualment de la zona de Los Escullos;

- Calvo Rebollar (2018) esmenta la seva presència a la zona entre Punta Redonda i Punta Colorada, al costat de la carretera de San José al far del Cabo de Gata.

Al *web* del Foro de Mineralogía Formativa (FMF) s'assenyala que, a la primera dècada d'aquest segle, José González del Tánago va analitzar algunes zeolites d'una col·lecció antiga, procedents de Los Escullos, concretament d'un talús de la carretera que porta al Pozo de los Frailes, determinant que es tractava de ferrierita-Mg i clinoptilolita-Ca. En els últims anys

Figura 3. Aflorament de blocs d'andesita anfibòlica. Foto: Ramón Jiménez.



Figura 4. Dipòsit de blocs d'andesita piroxènica. Foto: Ramón Jiménez.



s'ha esmentat la presència d'analcima a Atochares i de phillipsita-K als voltants del Cortijo de las Negras (Calvo Rebollar, 2018).

ENQUADRAMENT GEOLÒGIC

L'àrea estudiada es localitza a la regió volcànica neògena del SE espanyol (FIG. 1). Aquesta regió ocupa part de les províncies d'Albacete, Múrcia i Almeria, estenent-se per una franja costanera des del Mar Menor fins al Cabo de Gata, amb alguns afloraments més cap a l'interior, com els de lamproïtes de Cancarix i Jumilla.

En aquesta regió es distingeixen quatre tipus d'associacions volcàniques (López Ruiz i Rodríguez Badiola, 1980):

- El vulcanisme calcoalcalí, constituït per andesites basàltiques, andesites, dacites i riolites, restringit fonamentalment a la zona del Cabo de Gata.
- El vulcanisme calcoalcalí potàssic, representat per andesites i dacites potàssiques, i el shoshonític, amb banakites i toscanites (latites), que ocupen el sector d'Hoyazo-Vera-Mazarrón-Cartagena.
- El vulcanisme ultrapotàssic, integrat per roques lamproïtiques el nom de les quals es pren de les localitats on afloren: cancalita o cancarixita (de Cancarix, Albacete), jumillita (de Jumilla, Múrcia), fortunita (de Fortuna, Múrcia) i verita (de Vera, Almeria).
- El vulcanisme basalticoalcalí, representat per basalts olivínics i restringit a una zona molt reduïda situada al nord-oest de Cartagena (Múrcia).

Segons els diferents autors que han estudiat l'edat del vulcanisme (Bellon i 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), l'activitat volcànica va tenir lloc durant dos períodes dins del Neogen: el primer, en un interval

que va des de fa 18 Ma fins fa 6 Ma, amb vulcanismes calcoalcalí, calcoalcalí potàssic i shoshonític i ultrapotàssic; i el segon, després de 2 Ma. d'inactivitat, amb un magmatisme basàltic alcalí, restringit al NO de Cartagena (López Ruiz *et al.*, 2004).

EL JACIMENT D'AGUA AMARGA

El jaciment estudiat està localitzat a uns 4 km al NO d'Agua Amarga, en les proximitats de la Rambla de Covaticas, pertanyent al municipi de Níjar. S'inclou en la zona volcànica del Cabo de Gata, dins de l'àrea de vulcanisme neogen calcoalcalí (FIG. 2).

Es troba dins del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, declarat el 1987. A més, en l'actualitat, també s'inclou en el Geoparc Mundial de la UNESCO del mateix nom, per la qual cosa les activitats permeses a la zona es troben subjectes al Plan de Ordenación de Recursos Naturales (PORN) y al Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del parc.

Constitueix un exemple de magmatisme en ambient marí poc profund o litoral en el qual els edificis volcànics es troben molt erosionats (López Ruiz *et al.*, 2004). A partir dels dipòsits preservats, s'ha proposat que el Cabo de Gata pot entendre's com un camp volcànic format per domos de lava de petita escala dispersos, complexos de domos més grans i muntanyes submarines volcàniques de mida més gran. Les roques volcàniques van fer erupció a partir de fumaroles submarines, incloent la zona una àmplia varietat de fàcies, que van des d'explosives a efusives, presentant a més condicions transitòries durant les erupcions (Soriano *et al.*, 2016).

En l'aflorament d'Agua Amarga predominen els dipòsits caòtics de bretxes autoclàstiques d'andesites amfibòliques (FIG. 3) i, en menor mesura, d'andesites piroxèniques (FIG. 4), que poden ser interpretats com allaus submarines de blocs, que apareixen soldats, o

Figura 5. Vesícula farcida de zeolita. C.V.: 1,5 mm. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.



Figura 6. Blocs d'andesita piroxènica amb escorça d'alteració. Foto: Ramón Jiménez.



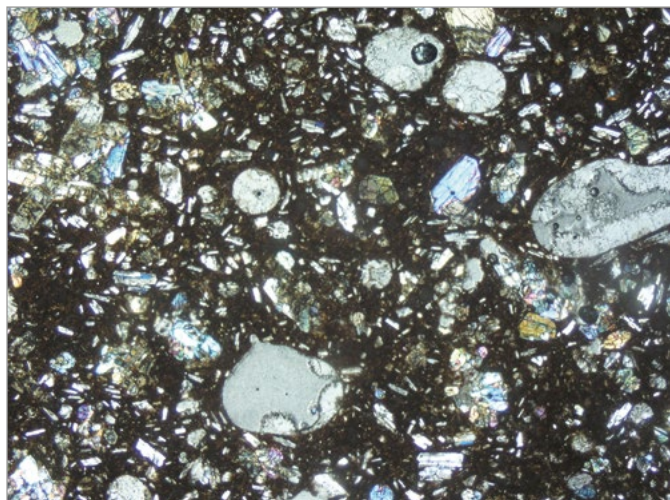


Figura 7. Textura general de l'andesita piroxènica. C.V.: 8 mm. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

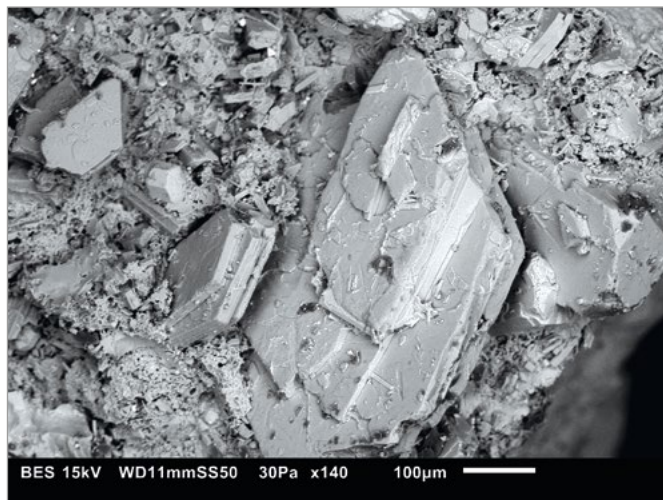


Figura 8. Imatge SEM d'un cristall d'anortita. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

moltes vegades units, per una matriu constituïda per clastos volcànics i vidre de gra molt fi.

Les zeolites es troben en blocs d'andesites piroxèniques, emplenant vesícules amigdaloides (FIG. 5). Aquests blocs mostren una zonació, sent més foscos, gairebé negres, en el seu interior, mentre que en la fina capa externa adquireixen tons marrons (FIG. 6).

La distribució de les zeolites dins dels blocs també varia de centre a vora, sent més comuna la phillipsita-Na a la zona externa.

La textura general de l'andesita piroxènica és porfírica seriada hialopilítica (FIG. 7), és a dir, presenta una sèrie de fenocristalls de diferent mida, envoltats de vidre volcànic. Els fenocristalls són principalment de plagiòclasis, clinopiroxè i ortopiroxè, sent ocasional la presència d'olivina alterada i amfíbol hornblèndic.

L'anortita (plagiòclasi càlcica) és el mineral més abundant i es presenta en cristalls idiomorfs de fins a 5 mm (FIG. 8), amb una composició $An_{72-75}Ab_{28-25}$ (varietat bytownita). Els piroxens solen formar agregats

Figura 9. Cristall de diòpsid en andesita piroxènica. C.V.: 2,2 mm. Col·lecció: Museu Geominero, Madrid; foto: Josep A. Soldevilla.





Figura 10. Drusa de cristalls de calcita. C.V.: 8 mm. Col·lecció: Museu Geominero, Madrid; foto: Josep A. Soldevilla.



Figura 11. Agregats de cristalls d'aragonita. C.V.: 4 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

glomeroporífrics de fins a 8 mm i els seus cristalls són idiomorfs, com el diòpsid de la FIG. 9. Altres minerals que s'han observat són els carbonats calcita (FIG. 10) i aragonita (FIG. 11), òxids de Fe i un òxid de Mn que, un cop analitzat amb SEM-EDS, sembla ser jianshuiïta (FIG. 12).

Aquest jaciment va ser trobat per José María Boloix Traveria (FIG. 13). José María és un apassionat de la geologia d'Almeria i ha observat els afloraments volcànics del Cabo de Gata des dels anys 70 del segle passat, residint a Agua Amarga des de 1987.

IDENTIFICACIÓ DE LES ZEOLITES D'AGUA AMARGA

Les zeolites constitueixen un nombrós grup de minerals. L'última llista oficial de les espècies acceptades per l'IMA es pot trobar en Coombs *et al.* (1997). La International Zeolite Association (IZA) manté una base de dades actualitzada de les zeolites naturals i sintètiques. Una altra referència completa, però ja una mica desfasada, a causa dels anys que han transcorregut des de la seva publicació el 2001, és el volum dedicat a les zeolites a *Reviews in Mineralogy &*

Geochemistry de la Mineralogical Society of America (Bish i Ming, 2001). Més antiquat, però fascinant, és el llibre *Zeolites of the world* (Tschernich, 1992). Aquestes fonts, juntament amb les bases de dades de Mindat, Webmineral i Mineralienatlas, donen una idea de la complexitat de les zeolites.

Actualment són 101 les espècies de zeolites acceptades per l'IMA, totes elles similars quant a estructura i composició. Generalment estan formades per Si, Al, Ca, K i Na, als quals s'afegeixen, en alguns casos, elements químics més rars, entre els quals es troben Be, Li, Ba, Mg i Cu. Són tectosilcats la composició del quals té una notable variabilitat a causa de la substitució de Si per Al (la gran majoria són aluminosilcats), i molt rarament per Be o B, i a la facilitat amb què els cations de metalls alcalins i alcalinoterris poden encaixar en l'estructura i ser reemplaçats els uns pels altres (Chipera i Apps, 2001; Passaglia i Sheppard, 2001). Aquestes variacions composicionals (FIG. 14) poden suposar serioses dificultats per a la seva identificació.

La tècnica SEM-EDS, que tan útil resulta en altres minerals en els quals la composició redueix a uns pocs els candidats acceptables, és molt poc conclouent

Figura 12. Òxid de Mn (probable jianshuiïta). C.V.: 2,5 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



Figura 13. José María Boloix explicant les seves experiències de camp per terres d'Almeria. Foto: Ramón Jiménez.



en la identificació de les zeolites, excepte si hi ha alguns elements poc freqüents (Ba, Cu, Mg...).

Alguna cosa semblant ocorre amb l'espectroscòpia Raman, la utilitat de la qual en el cas de les zeolites està limitada per la gran semblança dels espectres d'algunes d'elles i pels canvis a la regió baixa de l'espectre dins de la mateixa espècie, a causa del diferent contingut de cations (Tsai *et al.*, 2021). Fins i tot la difracció de raigs X, la tècnica més útil per a la identificació d'espècies minerals, pot presentar problemes amb les zeolites pel fet que el contingut d'aigua pot variar amb molta facilitat i al fet que alguns espectres són molt semblants, per no parlar del problema, en el nostre cas, de no poder disposar de la quantitat de mostra suficient per a la seva anàlisi mitjançant la tècnica de pols cristal·lina.

Per tot això, s'ha emprat també la mesura de les propietats òptiques, ja que té un interès especial per a la caracterització d'aquest grup de minerals. Així doncs, les identificacions que es descriuen a continuació s'han dut a terme mitjançant la sinèrgia de les anàlisis amb SEM-EDS, espectroscòpia Raman i determinació de les propietats òptiques, ja que cap d'aquestes tècniques, per separat, ha donat informació suficient per a una identificació fiable. Lamentablement, en els casos dubtosos no s'ha disposat de la quantitat de mostra necessària per a realitzar DRX.

Els intents d'identificació de les zeolites que es presenten com a crostes o boles van ser infructuosos, ja que els espectres Raman van resultar molt febles. En aquestes mostres, sovint hi ha capes superposades de zeolites que es poden haver desenvolupat mitjançant creixement epitaxial i no hi ha cristalls apropiats per a la seva observació en el microscopi petrogràfic. És probable que en un futur algunes d'aquestes mostres es puguin identificar amb DRX. Així doncs, de moment, hem restringit aquest estudi a les quatre zeolites que es presenten en forma clarament cristal·lina, la composició uniforme de les qual facilita la seva identificació, així com la mesura de les seves propietats òptiques.

Dos de les zeolites estudiades pertanyen al sistema cúbic: els cristalls, que són isòtrops en el microscopi petrogràfic, formen octaedres en un cas (faujasita-Na) i cubs en l'altre (paulingita-K). Del centenar d'espècies de zeolites actuals, només 10 pertanyen al sistema cúbic (incloent l'analcima, que en realitat és polimòrfica però amb els tres paràmetres axials de mesura molt similar) el que ha simplificat una mica la seva identificació.

Alguna cosa semblant ocorre amb una altra de les zeolites estudiades (erionita-K), que es presenta com a agregats radials de prismes d'hàbit hexagonal. Del centenar d'espècies de zeolites, només 12 tenen aquesta morfologia.

La quarta espècie de zeolita, que es presenta com a cristalls ben diferenciats, i és la més abundant en el jaciment, és la phillipsita-Na. S'ha identificat a partir de la compatibilitat del seu espectre Raman i les propietats químiques i òptiques, amb les descrites per a

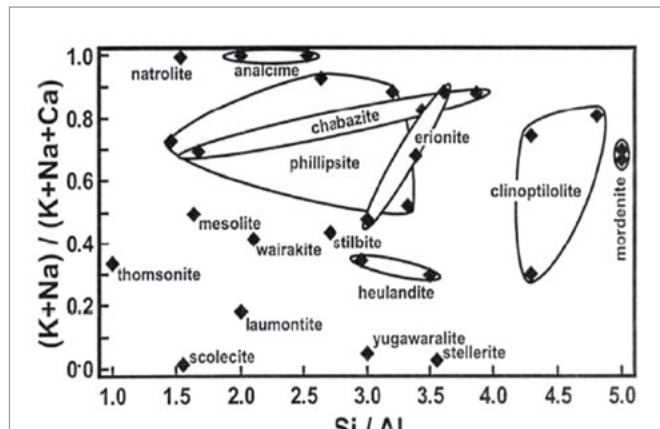


Figura 14. Variació en la composició d'algunes de les principals zeolites. Font: Bish i Ming, 2001.

aquest mineral, i és l'única zeolita que ha estat possible determinar mitjançant DRX.

A més de les zeolites, s'ha comprovat mitjançant espectroscòpia Raman i microscòpia electrònica que algunes vesícules, principalment les de la zona externa dels blocs, contenen cristalls d'aragonita i de calcita. Aquests minerals, que també constitueixen crostes al voltant dels blocs, s'han format en un procés de dissolució i precipitació dels carbonats dipositats amb posterioritat a la formació de les zeolites.

Crida l'atenció que en cap de les zeolites caracteritzades el Ca sigui el catió majoritari i que en dos d'elles (phillipsita-Na i paulingita-K) o no s'ha trobat aquest catió, o la seva concentració és molt baixa. La nostra explicació d'aquest fet passa per l'acceptació d'un model d'alteració hidrotermal de baixa temperatura, que produiria la dissolució de part del vidre de l'andesita i la posterior precipitació de les zeolites en les vesícules. El magma inicial calcoalcalí és ric en elements alcalins, però també en calci. No obstant això, les andesites piroxèniques estan formades fonamentalment per anortita i piroxens (sèrie enstatita-ferrosilita i clinopiroxens rics en calci). Per tant, el líquid residual que ha donat lloc al vidre en les andesites estava empobrit en Ca i, conseqüentment, enriquit en elements alcalins (Na i K). En dissoldre's aquest vidre, el fluid hidrotermal genera la precipitació de zeolites amb predomini de cations alcalins.

En tots els casos, s'ha confirmat mitjançant SEM-EDS la compatibilitat de la composició de les mostres amb la descrita per a cada espècie i s'ha identificat el catió predominant. Els espectres SEM-EDS s'han realitzat amb equip JEOL 6010 PLUS/LA dels laboratoris del CN IGME-CSIC a Tres Cantos (Madrid) i en els Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB). L'equip JEOL 6010 PLUS/LA del CN IGME-CSIC ha estat parcialment finançat pel Fons Europeu de Desenvolupament Regional (FEDER) (Ref. IGME13-4E-1518). Les anàlisis per DRX s'han realitzat en un equip XPERT PRO MPD de PANalytical als laboratoris del CN IGME-CSIC.



Figura 15. Cristall octaèdric translúcid de faujasita-Na. C.V.: 2,2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

Figura 16. Grup de cristalls octaèdrics de faujasita-Na. C.V.: 2,7 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.





Figura 17. Cristall octaèdric de faujasita-Na. C.V.: 2,2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 18. Cristalls octaèdrics transparents de faujasita-Na. C.V.: 2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



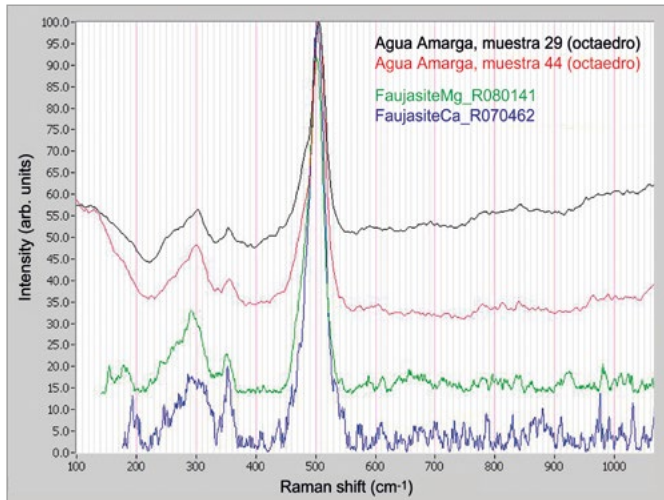


Figura 19. Espectres Raman de dos cristalls octaèdrics d'Agua Amarga, comparats amb els de dos faujasites de la base de dades RRUFF. Fonts: Adolf Cortel i projecte RRUFF.

En els pròxims apartats es detallen les quatre espècies que han estat identificades.

Faujasita-Na

Es presenta com a octaedres incoloros ben formats, un hàbit poc freqüent en zeolites, d'una mida aproximada d'1 mm (FIG. 15, 16, 17 i 18).

Els seus espectres Raman concorden raonablement amb els de les faujasites de la base de dades RRUFF a la zona de desplaçament Raman superior a 300 cm^{-1} (FIG. 19). Per a desplaçaments més baixos els senyals dels espectres depenen dels metalls presents. Ni en aquest mineral ni en els altres analitzats s'ha inclòs la regió amb desplaçament Raman superior a 3000 cm^{-1} en la qual apareixen les vibracions dels grups OH com a bandes amples i sense senyals definides, que aporten poca informació. En el cas de les faujasites, el senyal cap a 350 cm^{-1} permet diferenciar el seu espectre Raman del d'altres zeolites amb espectres semblants.

En el microscopi petrogràfic es confirma que el mineral és isòtrop, amb un índex de refracció molt pròxim a 1,47 (per a les faujasites aquest índex està en l'interval 1,466-1,480). De les espècies de zeolites pertanyents al sistema cúbic, només les de la sèrie

Zeolites	<i>n</i>	Raman
Amonioleucita*	1,518	No coincident
Analcima	1,479-1,493	No coincident
Cabazites*	1,460-1,515	No coincident
Faujasites	1,466-1,480	Coincident
Hsianghualita	1,613	No coincident
Leucita*	1,508-1,511	No coincident
Pahasapaïta	1,523	-
Paulingites	1,472-1,484	No coincident
Pollucita	1,507-1,525	No coincident
Tschörnerita	1,504	-
Agua Amarga	1,470	

n = índex de refracció.
* Pseudocúbiques.

Figura 20. Comparació dels índexs de refracció (*n*) i dels espectres Raman de totes les zeolites cúbiques (i pseudocúbiques) amb els de cristalls octaèdrics d'Agua Amarga, que es corresponen amb les faujasites. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: Adolf Cortel, IZA i projecte RRUFF.

faujasita tenen unes propietats compatibles amb les de la mostra (FIG. 20).

L'anàlisi SEM-EDS indica una ràtio mitjana Si/(Si+Al) de 0,75 (FIG. 21), una mica més alta que la descrita per a les faujasites (0,68 a 0,73), segons l'IZA. Els altres elements químics, en ordre d'abundància (% atòmics), són Na, Ca i K; sense que s'hagi detectat Mg. Tal com ocorre amb la majoria de les faujasites descrites, el Na és el catió predominant (Tschernich, 1992) (si bé en una de les mostres la ràtio Na/K és pròxima a 1), per la qual cosa correspon a l'espècie faujasita-Na

Paulingita-K (i paulingita-Na)

Es presenten com a petits cristalls cúbics que, en uns casos, estan aïllats i, en uns altres, apareixen en druses o com a agregats compactes més o menys esferoides (FIG. 22, 23 i 24).

En la rotació de la platina del microscopi petrogràfic els fragments presenten una tènue birefringència amb colors d'interferència en gris molt fosc, la qual cosa suggereix que el mineral és isòtrop amb una mica de birefringència deguda a tensions o reflexions internes dels cristalls. L'índex de refracció mesurat és de 1,472

Figura 21. Anàlisi SEM-EDS (% atòmics i ràtios, sense incloure l'oxigen) de mostres de cristalls octaèdrics, que es corresponen amb faujasita-Na. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: CN IGME-CSIC i CCITUB.

Mostres: cristalls octaèdrics	% atòmics					Ràtios		
	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
Mitjana						3,04	0,75	0,79

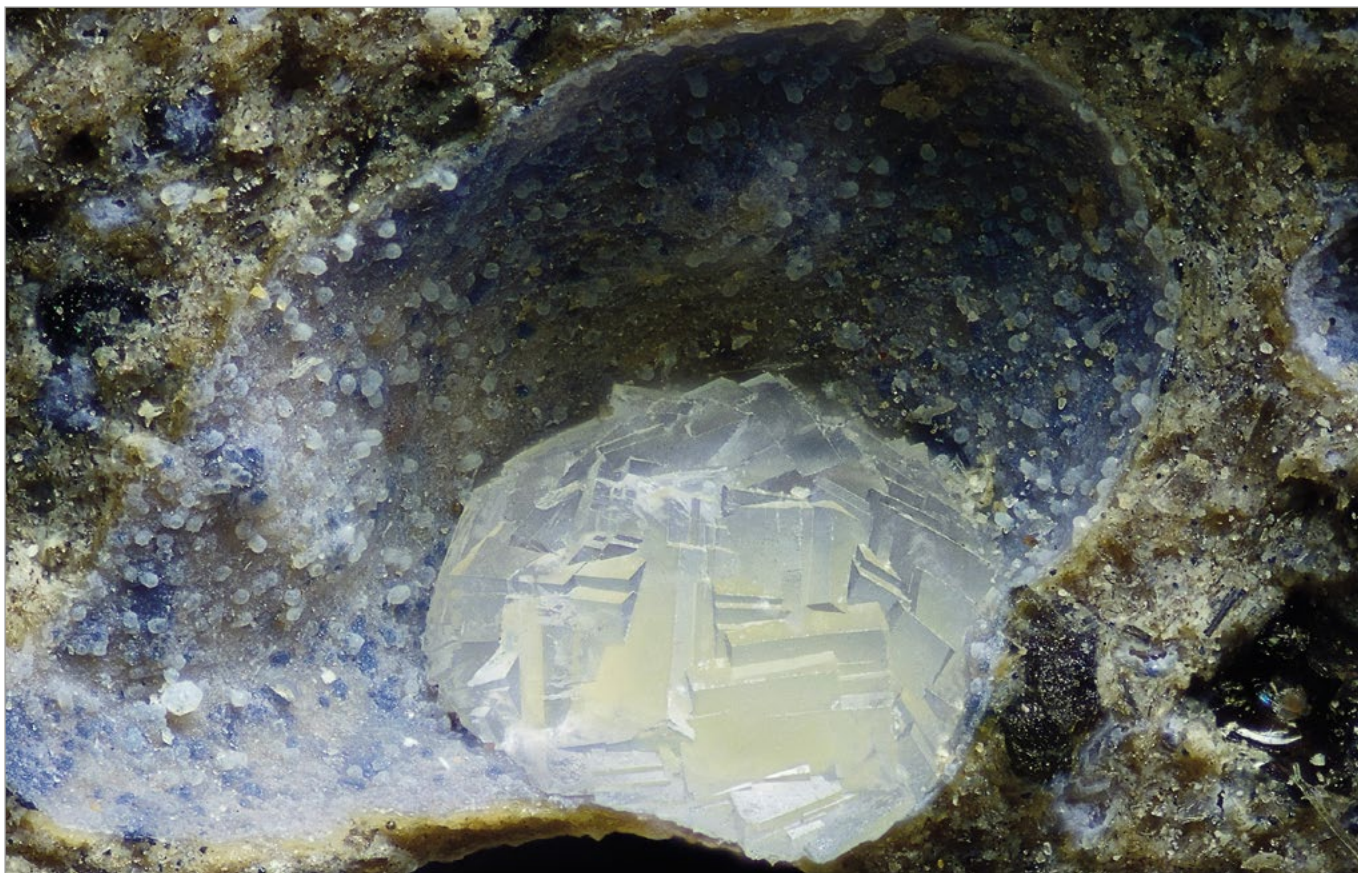


Figura 22. Agregat compacte de cristalls cúbics de paulingita-K. C.V.: 2,2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

$\pm 0,004$, molt proper al de les paulingites (1,473 a 1,484).

En funció del seu espectre Raman (FIG. 25) i del seu índex de refracció, només pot identificar-se com a membre de les sèries paulingita (FIG. 26). La baixa birefringència observada suggeria que podria tractar-se d'alguna cabazita, que pot presentar-se amb hàbit pseudocúbic i birefringència molt baixa, però l'espectre Raman ho descarta.

La composició obtinguda mitjançant SEM-EDS (FIG. 27) indica una ràtio mitjana Si/(Si+Al) de 0,75, dins de l'interval descrit per a les paulingites (0,73-0,77). Si bé en el global de mostres analitzades predomina el K, hi ha un ampli ventall de composicions amb ràtios K/Na que van des de 1,9 fins a 0,6, per la qual cosa podem dir que en realitat es donen totes dues espècies: paulingita-K i paulingita-Na, a manera de

Figura 23. Imatge SEM de macles i cristalls d'hàbit cúbic de paulingita-K. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

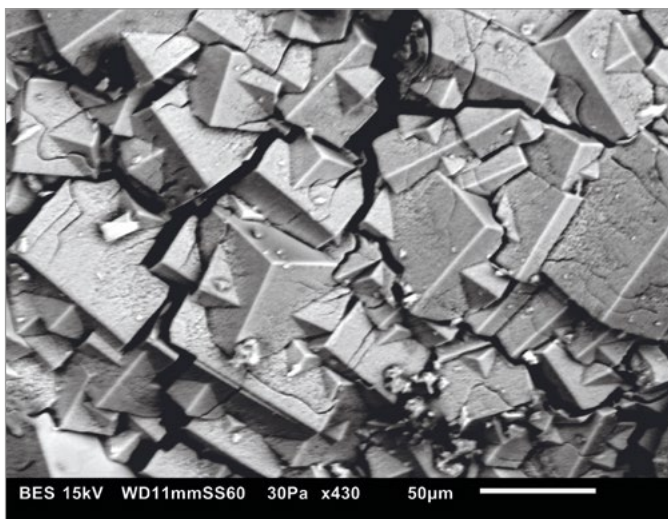
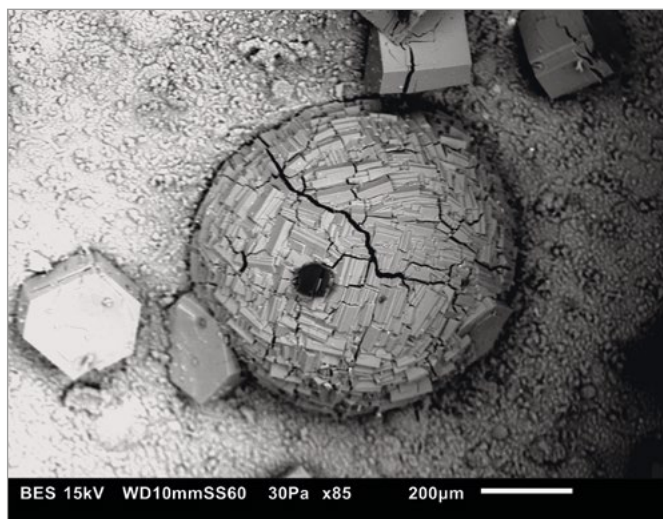


Figura 24. Imatge SEM d'un agregat esferoide de paulingita-K. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.



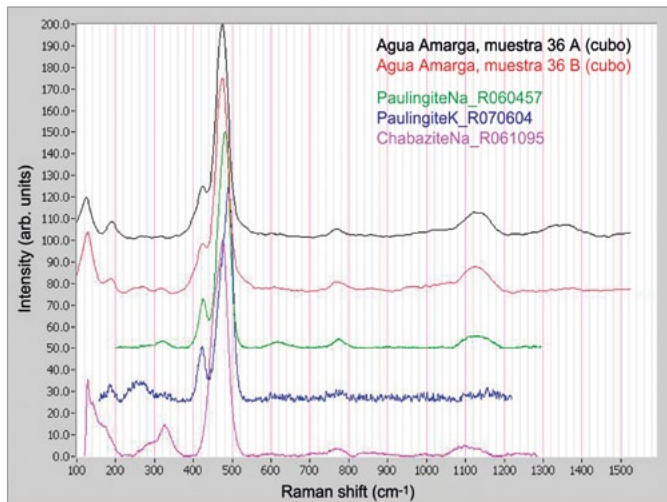


Figura 25. Espectres Raman de dos cristalls cúbics d'Agua Amarga, comparats amb els de dos paulingites i una cabazita-Na de la base de dades RRUFF. Fonts: Adolf Cortel i projecte RRUFF.

Zeolites	<i>n</i>	Raman
Amonioleucita*	1,518	No coincident
Analcima	1,479-1,493	No coincident
Cabazites*	1,460-1,515	No coincident
Faujasites	1,466-1,480	No coincident
Hsianghualita	1,613	No coincident
Leucita*	1,508-1,511	No coincident
Pahasapaïta	1,523	-
Paulingites	1,472-1,484	Coincident
Pollucita	1,507-1,525	No coincident
Tschörnerita	1,504	-
Agua Amarga	1,472	

n = índex de refracció.
* Pseudocúbiques.

Figura 26. Comparació dels índexs de refracció (*n*) i dels espectres Raman de totes les zeolites cúbiques (i pseudocúbiques) amb els de cristalls cúbics d'Agua Amarga, que es corresponen amb les paulingites. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: Adolf Cortel, IZA i projecte RRUFF.

sèrie amb diversos membres intermedis, en funció del predomini d'un o l'altre catió alcalí. No conté Mg, ni pràcticament Ca.

Atès que les paulingites són poc freqüents i que la seva forma predominant és gairebé sempre el rombododecaedre, que apareguin cristal·litzades en cubs és rar, però no extraordinari, ja que en les bases de dades de Mindat i Mineralienatlas apareixen fotografats diversos exemples formant cubs.

Els cubs de paulingita-K que apareixen en la base de dades RRUFF (R070604) s'han confirmat mitjançant DRX. Atès que, de moment, aquestes paulingites són molt escasses en el jaciment d'Agua Amarga, no s'ha pogut confirmar la seva identificació mitjançant aquesta tècnica.

Erionita-K

L'erionita-K és una altra zeolita escassa en el jaciment, on apareix com a agregats radiats de prismes hexagonals, incoloros, amb una longitud entre 0,5 i 1 mm i un gruix de 0,1 mm, i fins i tot més petits (FIG. 28, 29 i 30). Els prismes estan agregats a vegades de manera compacta (FIG. 31) i altres vegades a manera de cristalls més fins i separats entre si (FIG. 32). Aquesta variació va fer pensar que podia tractar-se d'espècies diferents, però tant els espectres Raman com les propietats òptiques de totes les mostres amb prismes hexagonals coincideixen.

Tal com ocorre amb les zeolites del sistema cúbic, el nombre de zeolites del sistema hexagonal és relativament reduït. En el microscopi petrogràfic s'han

Figura 27. Anàlisi SEM-EDS (% atòmics i ràtios, sense incloure l'oxigen) de mostres de cristalls cúbics, que es corresponen amb paulingita-K (i -Na). Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: CN IGME-CSIC i CCITUB.

Mostres: cristalls cúbics	% atòmics					Ràtios			
	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
Mitjana						2,95	0,75	0,96	1,17



Figura 28. Agregat radiat de cristalls prismàtics gruixuts d'erionita-K. C.V.: 0,5 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 29. Agregat radiat de cristalls prismàtics fins d'erionita-K. C.V.: 0,4 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



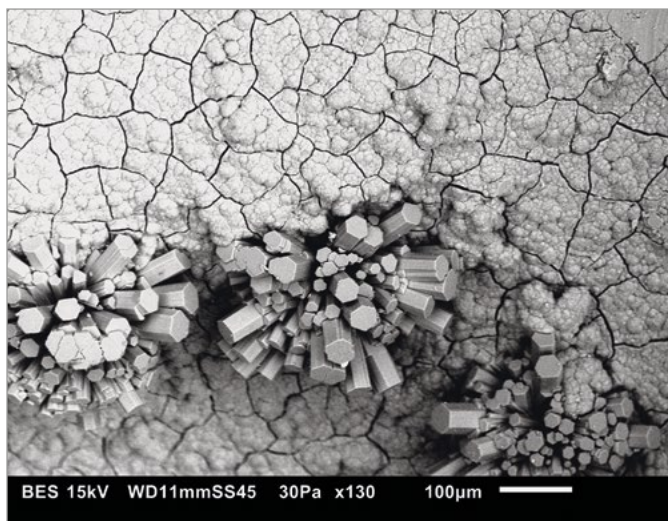


Figura 30. Imatge SEM de tres agregats de cristalls prismàtics d'erionita-K. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.



Figura 31. Imatge SEM d'un agregat compacte de cristalls d'erionita-K. Col·lecció i foto: Adolf Cortel.

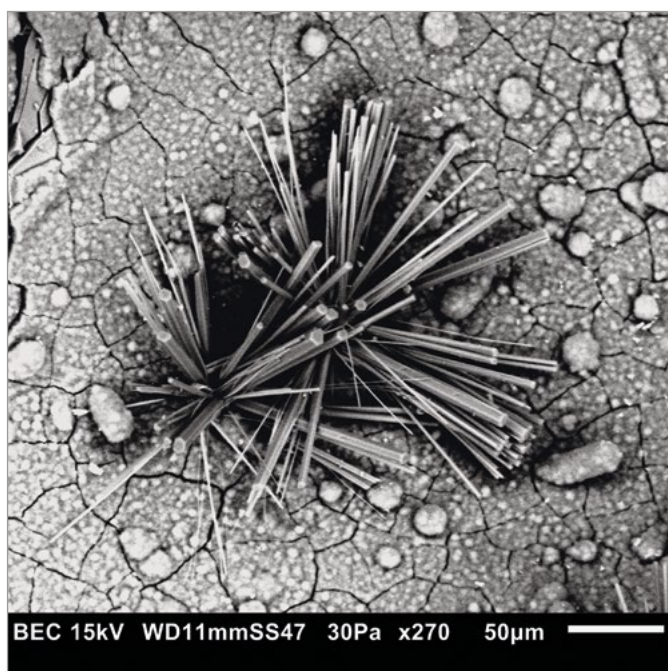
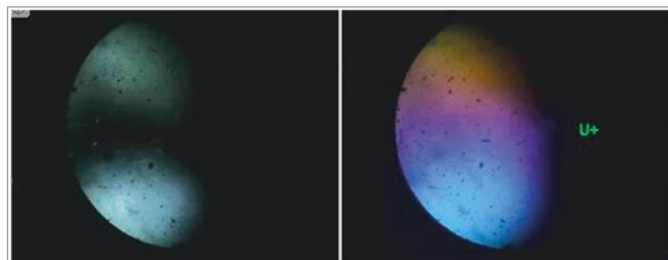


Figura 32: Imatge SEM de dos agregats radiats de cristalls aciculars d'erionita-K. C.V.: 0,5 mm. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

Figura 33. Figura d'interferència uniaxial amb l'eix òptic descentrat d'un fragment d'un cristall prismàtic hexagonal d'erionita-K. El tascó de quars fa augmentar el retard en el 3r. quadrant i disminuir-ho en el 4rt., la qual cosa indica que el signe òptic és (+). Fotos: Adolf Cortel.

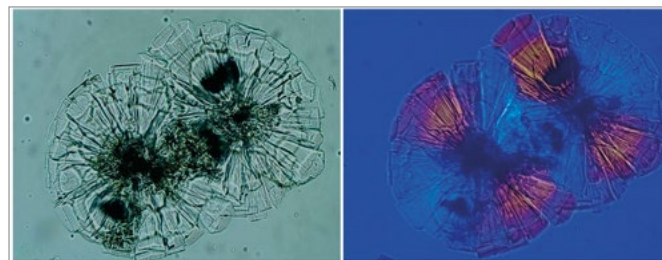


pogut trobar figures d'interferència uniaxials de signe positiu (FIG. 33 i 34); el signe s'ha confirmat en l'elongació dels cristalls. La birefringència del mineral és molt baixa, per la qual cosa l'índex de refracció és molt semblant tant en la direcció de l'eix òptic com en direcció perpendicular.

L'espectre Raman d'una mostra (FIG. 35) coincideix amb el de diverses zeolites que presenten morfologia hexagonal (erionites, levynes, offretita), però el seu índex de refracció (1,477) permet descartar levynes i offretita. La comparativa d'espècies hexagonals, incloent el signe òptic, apareix en la taula de la FIG. 36 (les levynes són en realitat trigonals, amb classe de simetria hexagonal escalenoèdrica). Les erionites són uniaxials amb signe (+) i, segons l'IZA, tenen índexs de refracció amb valors entre 1,455 i 1,480. A la base de dades de l'IZA s'ha descrit que el signe òptic de les erionites pot ser negatiu quan la ràtio Si/Al és baixa, la qual cosa no ocorre en el nostre cas.

En funció de l'anàlisi SEM-EDS (FIG. 37), la ràtio mitjana Si/(Si+Al) és de 0,77, que està dins de l'in-

Figura 34. Agregat radiat de cristalls prismàtics hexagonals d'erionita-K en el microscopi petrogràfic. A l'esquerra, sense analitzador. A la dreta, amb nícols creuats i tascó de quars. La variació en el retard indica que l'índex de refracció en la direcció de l'eix dels prismes és major que en la direcció perpendicular, de manera que l'elongació té signe (+). Fotos: Adolf Cortel.



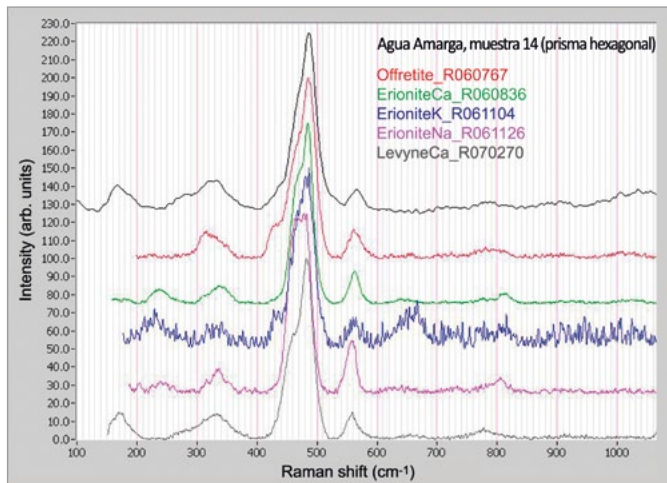


Figura 35. Espectre Raman d'un cristall hexagonal d'Agua Amarga, comparat amb diversos espectres de la base de dades RRUFF. Fonts: Adolf Cortel i projecte RRUFF.

terval descrit per a les erionites (0,69-0,79). Les propietats òptiques també són compatibles amb les de la perllialita, igualment hexagonal, l'espectre de la qual Raman no s'ha descrit (es tracta d'una zeolita molt rara), però la ràtio Si/(Si+Al) d'aquesta espècie és més baixa (0,65-0,67).

A diferència de les zeolites determinades fins ara, en aquest cas hi ha quantitats significatives de Ca i Mg, encara que globalment predominen clarament els cations alcalins. Entre aquests el predomini correspon al K (excepte una mostra en la qual predomina per molt poc el Na), per la qual cosa podem identificar el mineral com erionita-K (pot donar-se que hi hagi més mostres que es corresponguin amb erionita-Na i, a manera de sèrie, tinguem un cas com el de les paulingites).

A causa de l'escassa quantitat de mostra oposada en el jaciment, no ha estat possible confirmar l'espècie mitjançant DRX.

Figura 37. Anàlisi SEM-EDS (% atòmics i ràtios, sense incloure l'oxigen) de mostres de cristalls hexagonals, que es corresponen amb erionita-K. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: CN IGME-CSIC i CCiTUB.

Mostres: cristalls hexagonals	% atòmics						Ràtios			
	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
Mitjana							3,40	0,77	0,82	1,89

Zeolites	<i>n</i>	Signe òptic	Raman
Bellbergita	1,522-1,507	U (-)	No coincident
Erionites	1,455-1,480	U (+)**	Coincident
Gmelinites	1,470-1,474	U (+) o (-)	No coincident
Levynes*	1,489-1,502	U (-)	Coincident
Mazzites	1,499-1,500	U (-)	-
Offretita	1,489-1,495	U (+) o (-)	Coincident
Perllialita	1,479-1,489	U (+)	-
Agua Amarga	1,477	U (+)	

n = índex de refracció.
 * Trigonal (hexagonal escalenoèdrica).
 ** El signe pot ser (-) si la ràtio Si/Al és baixa.

Figura 36. Comparació dels índexs de refracció (*n*), signes òptics i espectres Raman de les zeolites de morfologia hexagonal amb els de cristalls hexagonals d'Agua Amarga, que es corresponen amb les erionites. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: Adolf Cortel, IZA i projecte RRUFF.

Phillipsita-Na

De totes les espècies de zeolites del jaciment, la phillipsita-Na és la més abundant. Es presenta rarament com a cristalls senzills i, gairebé sempre, formant macles de compenetració simples (de dos individus, amb la típica terminació en quatre cares més o menys ròmbiques) (FIG. 38), que al seu torn es poden unir, donant com a resultat cristalls maclats més complexos (de quatre a dotze individus), que solen presentar-se en druses o com a agregats en paral·lel a divergents i com a rosetes (FIG. 39, 40, 41 i 42); més rara com a macles pseudohexagonals (FIG. 43). A vegades, els agregats de cristalls són més o menys semiesfèrics i presenten un nucli intern de color groguenc, per la qual cosa adquireixen l'aspecte de minúsculs "ous ferrats" (FIG. 44). Els espectres Raman i els índexs de refracció van ser molt semblants en totes les mostres amb aquestes morfologies.



Figura 38. Grup de cristalls maclats de phillipsita-Na. C.V.: 4 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.

Figura 39. Agregats divergents de cristalls de phillipsita-Na. C.V.: 4 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



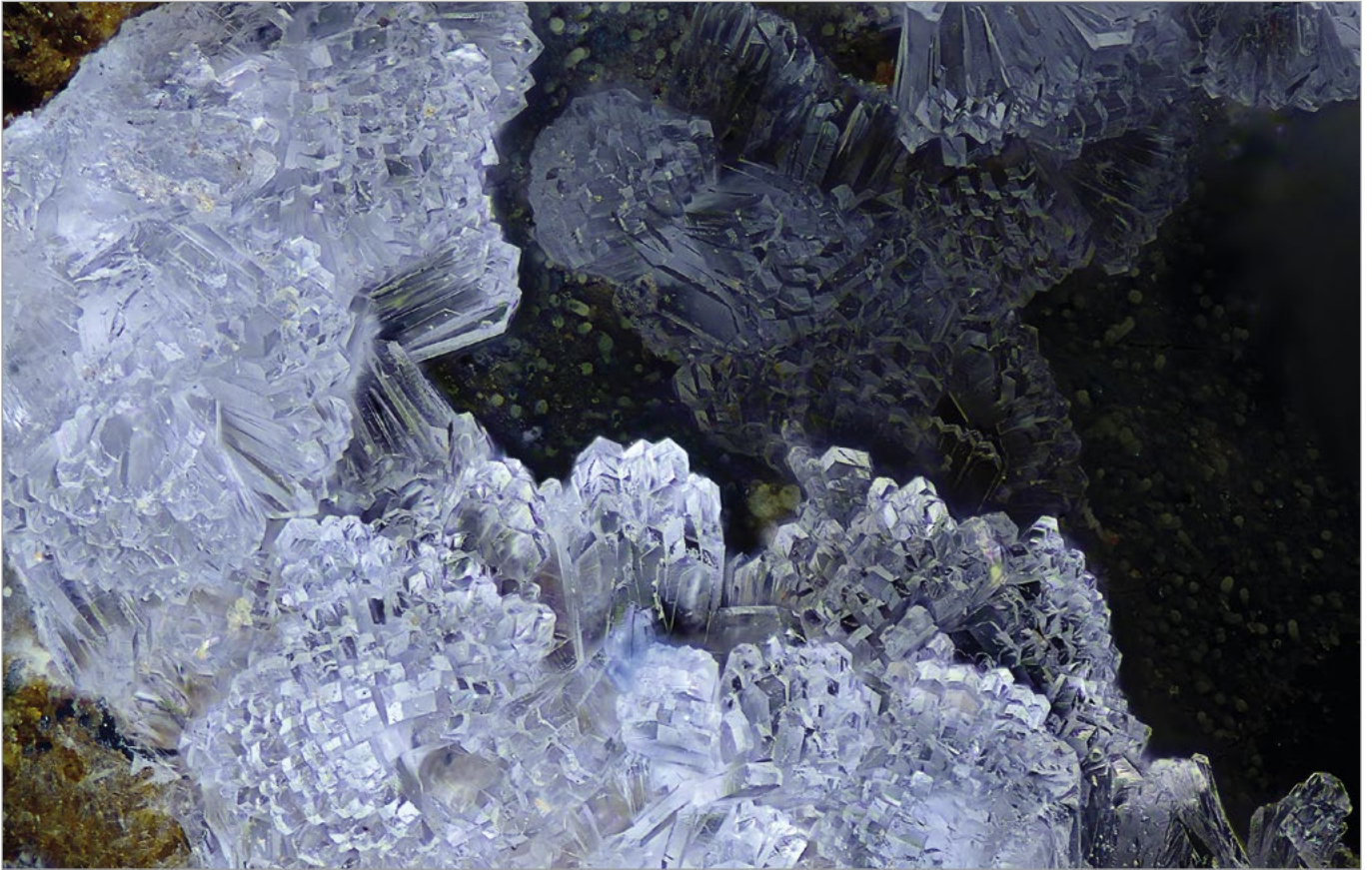


Figura 40. Agregats en paral·lel de cristalls de phillipsita-Na. C.V.: 2,2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Josep A. Soldevilla.

Figura 41. Agregat de cristalls maclats de phillipsita-Na. C.V.: 2 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



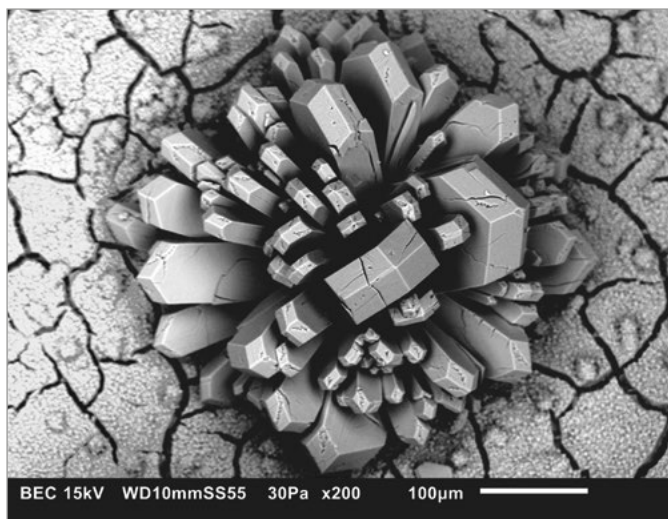


Figura 42. Imatge SEM d'una roseta de cristalls de phillipsita-Na. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

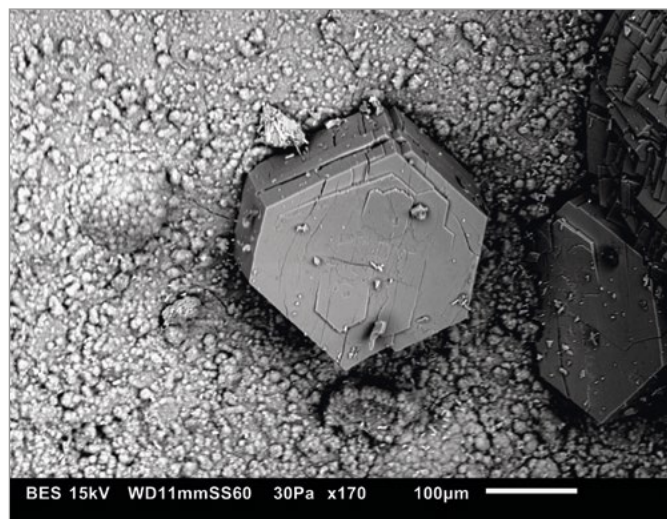
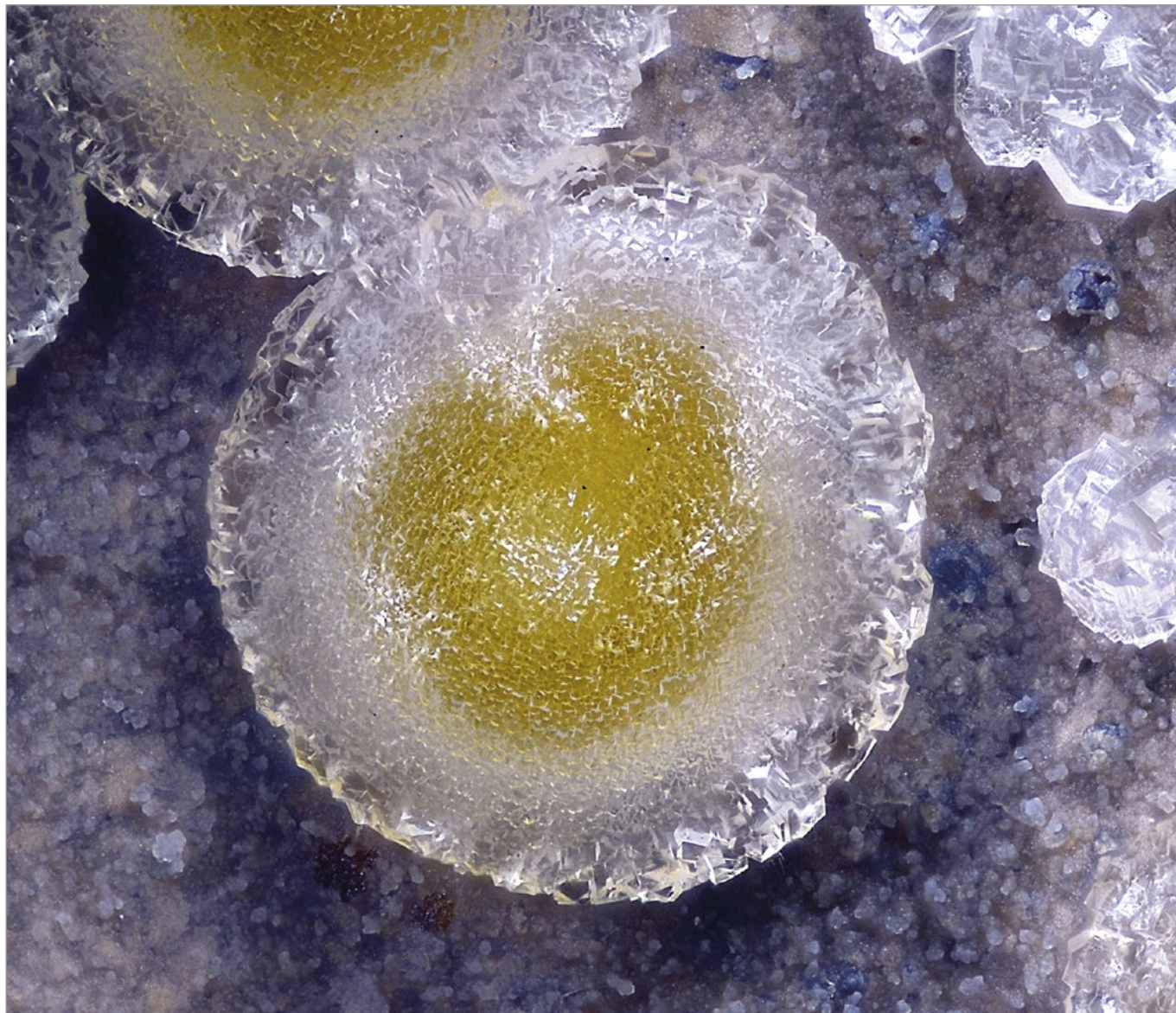


Figura 43. Imatge SEM d'una macla pseudo-hexagonal de phillipsita-Na. C.V.: 0,7 mm. Col·lecció i foto: CN IGME-CSIC.

Figura 44. Agregat en "ou ferrat" de cristalls de phillipsita-Na. C.V.: 1,5 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.



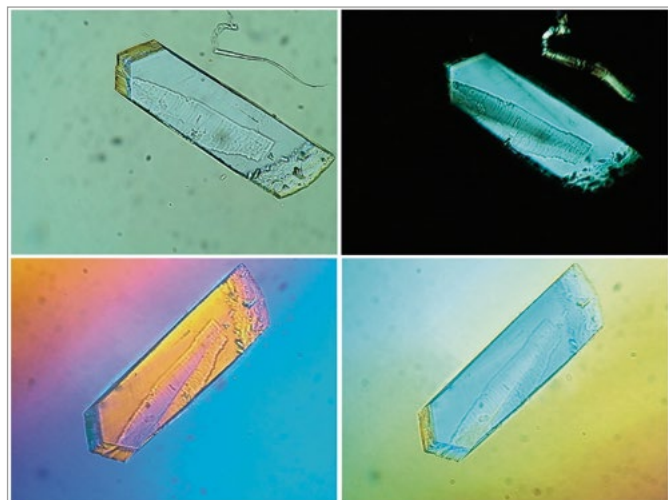


Figura 45. Cristall senzill de phillipsita-Na en el microscopi petrogràfic. A dalt esquerra: sense analitzador; a dalt dreta: amb polaritzadors creuats (s'observa la baixa birefringència del mineral); a baix: el gradient de colors amb polaritzadors creuats i el tascó de quars introduït en dues posicions permet observar que el signe d'elongació és negatiu. Font: Adolf Cortel.

Les propietats òptiques indiquen que el mineral és biàxic (-) i té molt baixa birefringència (FIG. 45); mentre que els índexs de refracció són molt pròxims a 1,49, dins de l'interval propi de les phillipsites (1,48-1,51). Els espectres Raman de les phillipsites són similars als d'altres zeolites (paulingites, merlinoïta, garronites i dachiardites).

De l'anàlisi mitjançant SEM-EDS (FIG. 46) resulta una ràtio mitjana Si/(Si+Al) de 0,75, que està en l'interval que s'ha documentat per a les phillipsites (0,55 a 0,77) (Passaglia i Sheppard, 2001). Respecte al contingut de metalls alcalinoterris, en cap de les anàlisis realitzades s'ha trobat Ca, ni tampoc Mg. Entre els metalls alcalins predomina el Na (en dues mostres la ràtio Na/K és pròxima a 1). No és excepcional que la phillipsita-Na no tingui Ca. En aquest cas, com ja s'ha indicat, és possible que la formació d'anortita i piroxens rics en calci en el magma hagi reduït la concentració d'aquest element químic en el fluid hidro-

termal que finalment va donar lloc a aquestes zeolites.

És de destacar que, segons l'IZA, de totes les zeolites, les phillipsites són probablement les que presenten una major variabilitat en la composició i en ambients genètics (FIG. 47).

Entre les possibles espècies candidates en funció dels espectres Raman: les paulingites es descarten, ja que pertanyen al sistema cúbic; la merlinoïta presenta un hàbit similar al de les phillipsites, però la seva birefringència és baixíssima i la seva ràtio Si/(Si+Al) queda per sota (0,62 a 0,71) que la que s'ha mesurat (entre 0,74 i 0,76); les dachiardites i les garronites tenen propietats òptiques semblants però els seus hàbits no coincideixen amb els de les mostres estudiades. Tot això deixa a una phillipsita com a candidata més plausible. Finalment, a causa del predomini de Na, es tractaria de phillipsita-Na.

Donada la relativa abundància d'aquesta zeolita entre les que hi ha al jaciment, s'ha pogut disposar de la quantitat de mostra suficient per a confirmar la seva identificació mitjançant difracció de raigs X (FIG. 48).

CONCLUSIONS

Per a l'estudi d'un jaciment de zeolites en les proximitats d'Agua Amarga ha estat necessari utilitzar diferents tècniques per a poder caracteritzar les espècies minerals presents. Les mostres han estat estudiades al microscopi petrogràfic, la qual cosa ha permès observar els caràcters texturals, la figura d'interferència i el signe òptic; s'ha mesurat l'índex de refracció; s'han realitzat anàlisis mitjançant microscòpia electrònica d'escombratge, espectroscòpia Raman i difracció de raigs X. A conseqüència de la utilització d'aquestes tècniques s'han identificat algunes zeolites amb cristalls ben conformats: faujasita-Na, que es presenta en forma d'octaedres d'aproximadament 1 mm; paulingita-K (i -Na), cristal·litzada en petits cubs; erionita-K, que forma prismes hexagonals inferiors a 1 mm de longitud; i phillipsita-Na, la més abundant, que es presenta normalment maclada formant druses i agre-

Figura 46. Anàlisi SEM-EDS (% atòmics i ràtios, sense incloure l'oxigen) de mostres de cristalls que es corresponen amb phillipsita-Na. Taula: elaboració pròpia i José Luis Garrido; fonts: CN IGME-CSIC i CCITUB.

Mostres: cristalls maclats	% atòmics					Ràtios			
	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
Mitjana						3,08	0,75	1,00	2,00

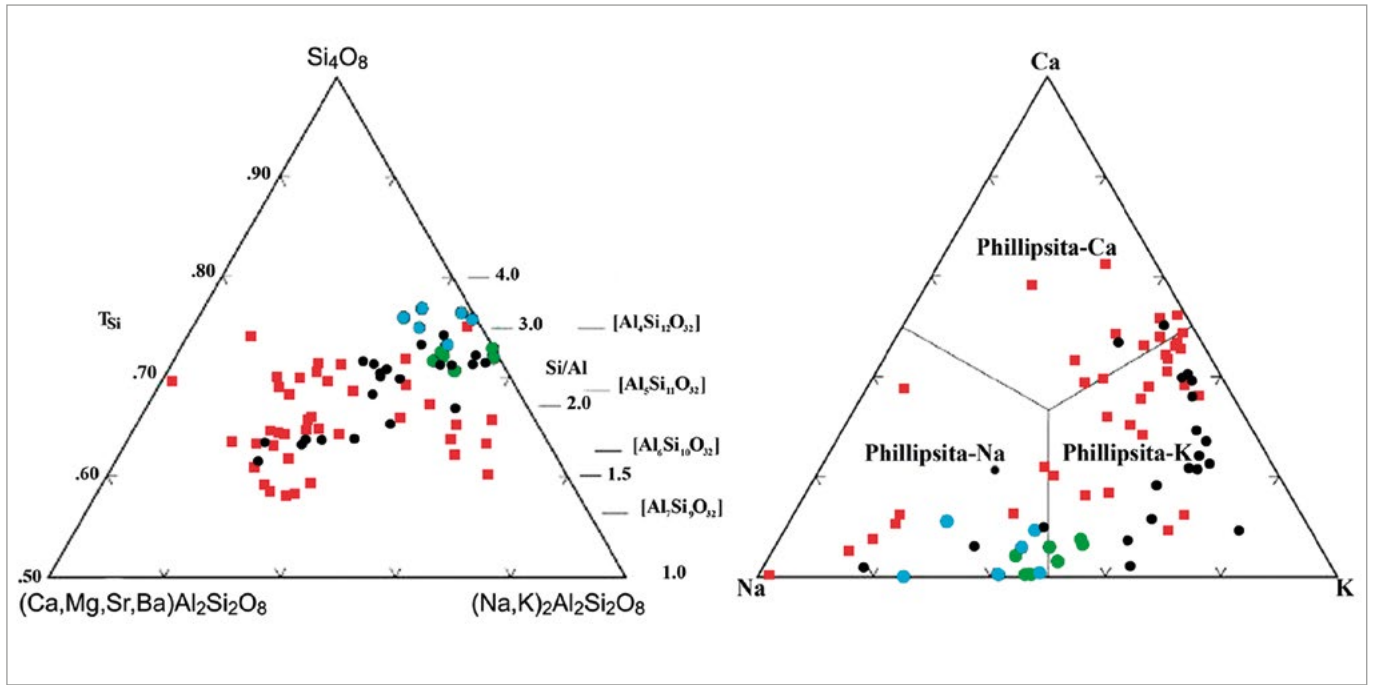
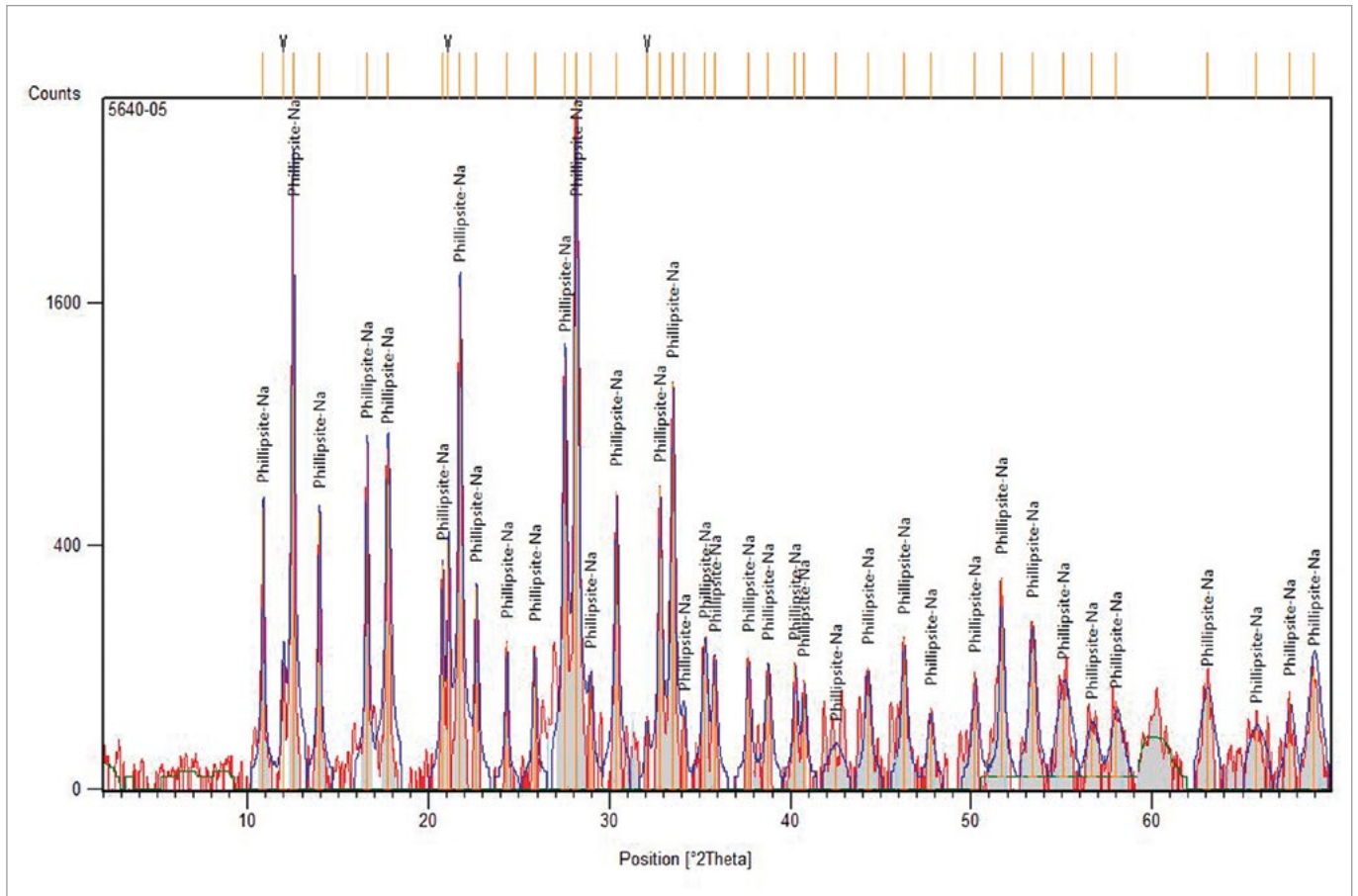


Figura 47. Rang composicional en phillipsites naturals. Esquerra: les phillipsites d'origen volcànic, són, en general, més pobres en Si, mentre que les procedents de sediments salins i marins, així com de roques piroclàstiques, són més riques en Si i en àlcali. Dreta: la phillipsita-Ca predomina en ambients volcànics, mentre que la potàssica i la sòdica es donen en diferents ambients genètics. Quadrats vermells = vesícules en roques basàltiques; cercles de diversos colors = roques sedimentàries alterades diagenèticament (negres = dipòsits piroclàstics potàssics, blaus = sediments de llacs alcalins, verds = sediments marins). Font: International Zeolite Association (IZA).

Figura 48. Anàlisi SEM-EDS (% atòmics i ràtios, sense incloure l'oxigen) de mostres de cristalls que es corresponen amb phillipsita-Na. Taula: elaboració pròpia; fonts: CN IGME-CSIC i CCITUB.



gats de cristalls. Al costat d'aquestes zeolites s'han observat unes altres que no ha estat possible caracteritzar, a causa de la seva escassetat que presenten, encara que seran objecte d'un altre estudi quan es

disposi de la suficient quantitat de mostra per a analitzar, i a la pobra cristal·linitat que presenten, encara que seran objecte d'un altre estudi quan es disposi de la suficient quantitat de mostra per a analitzar.

Agraïments

A José María Boloix Traveria, per mostrar-nos la localització del jaciment de zeolites d'Agua Amarga, i a José Ignacio Ramos Mantas, per animar-nos a escriure aquest article, per la seva generositat i atenció en aportar la major part de les mostres per a l'anàlisi i per a ser fotografiades i per acompanyar-nos al jaciment. A Bartolomé Rodríguez Merchán, per facilitar-nos algunes mostres per a la seva anàlisi.

A Berta Ordóñez Casado, dels laboratoris del CN IGME-CSIC a Tres Cantos (Madrid), per l'atenció prestada en la realització de les anàlisis de SEM-EDS.

A Begoña del Moral González, per la seva ajuda en la determinació mitjançant DRX de la phillipsita-Na.

Al Dr. Tariq Jawhari, dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB), per realitzar els espectres Raman. La utilització dels serveis dels CCiTUB s'ha dut a terme gràcies al conveni que el Grup Mineralògic Català té amb la Universitat de Barcelona.

A José Luis Garrido, per la revisió general de l'article.

Referències

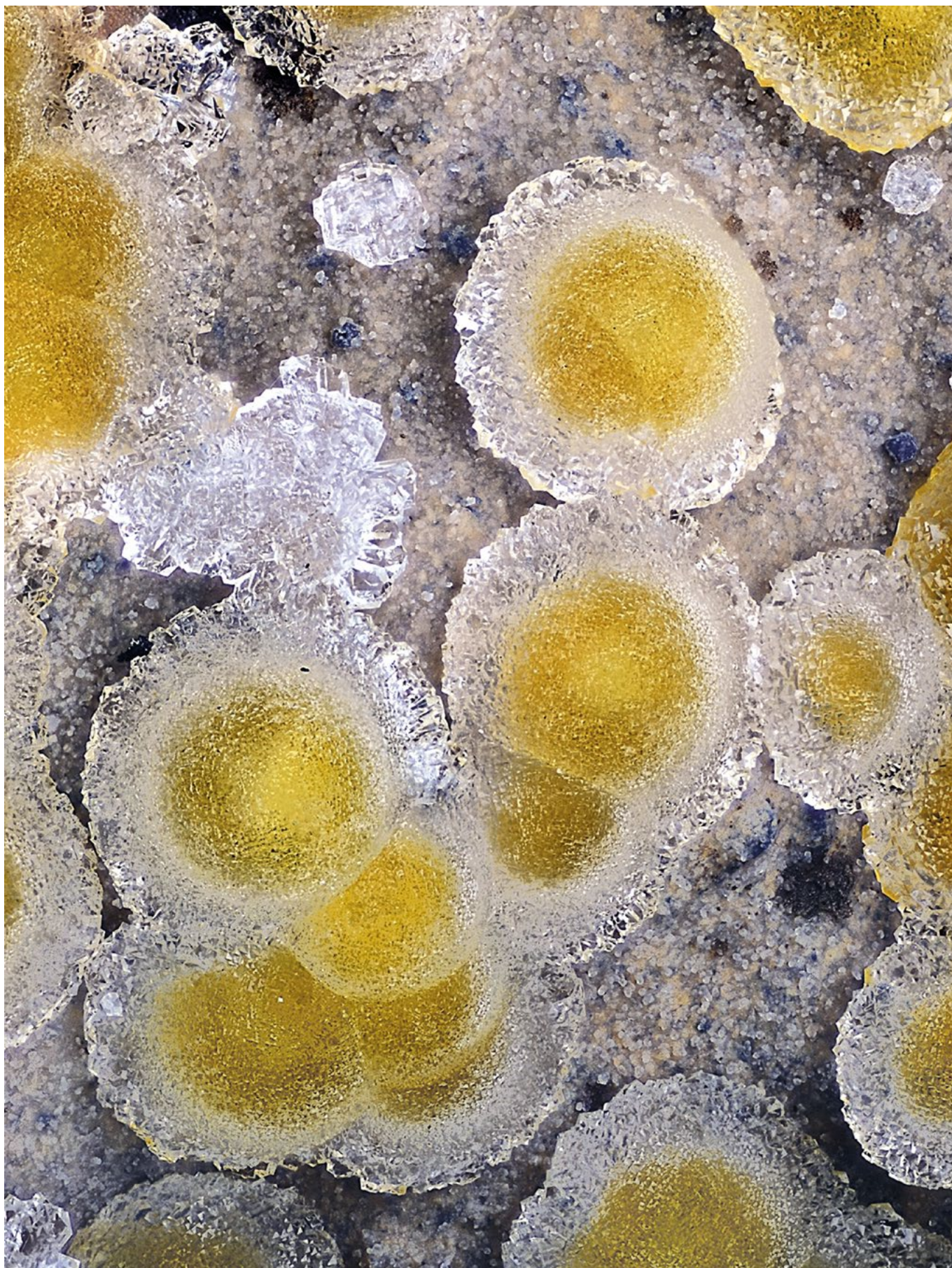
- BELLON, H.; BORDET, P.; MONTENAT, C. (1983). «Chronologie du magmatisme néogène des Cordillères Bétiques (Espagne méridionale)». *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 25, pp. 205-217.
- BELLON, H.; BROUSSE R. (1977). «Le magmatisme périméditerranéen occidental. Essai de synthèse». *Bulletin 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, EUA): 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 consultats

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

DATA RECEPCIÓ: 05-04-22. DATA ACCEPTACIÓ: 08-04-22. DATA INICI EDICIÓ: 11-04-22.



Agregat en "ou ferrat" de cristalls de phillipsita-Na d'Agua Amarga. C.V.: 2,7 mm. Col·lecció: José Ignacio Ramos; foto: Juan Miguel Segura.