

# CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE UN CONJUNTO DE CUENTAS DE VIDRIO PROCEDENTES DEL *OPPIDUM* VETÓN DE ULACA (SOLOSANCHO, ÁVILA)

## *Archaeometric Characterization of a Set of Glass Beads from the Veton Hillfort of Ulaca (Solosancho, Ávila)*

Alejandro PINILLA GISBERT\*, Jesús RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ\*\*, Fernando AGUA MARTÍNEZ\*, Carlos DÍAZ-SÁNCHEZ\*\*\*, Fátima QUIJADA SÁNCHEZ\*, Gonzalo RUIZ ZAPATERO\*\*\*, Jesús R. ÁLVAREZ-SANCHÍS\*\*\*, M.<sup>a</sup> Ángeles VILLEGAS BRONCANO\* y Manuel GARCÍA-HERAS\*

\* *Instituto de Historia-CSIC. C/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. Correo-e: [alpinill@ucm.es](mailto:alpinill@ucm.es); [fernando.agua@cchs.cisc.es](mailto:fernando.agua@cchs.cisc.es); [fatima.quijada@cchs.csic.es](mailto:fatima.quijada@cchs.csic.es); [mariangeles.villegas@cchs.csic.es](mailto:mariangeles.villegas@cchs.csic.es); [manuel.gheras@cchs.cisc.es](mailto:manuel.gheras@cchs.cisc.es). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9386-1907>; <https://orcid.org/0000-0002-6868-8521>; <https://orcid.org/0000-0002-9727-5478>; <https://orcid.org/0000-0002-4468-2694>*

\*\* *Dpto. de Ciencias Humanas. Univ. de La Rioja. C/ Luis de Ulloa, 2. 26004 Logroño. Correo-e: [jesus.rodriguez@unirioja.es](mailto:jesus.rodriguez@unirioja.es). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1243-3642>*

\*\*\* *Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Univ. Complutense de Madrid. C/ Prof. Aranguren, s/n. 28040 Madrid. Correo-e: [cardia01@ucm.es](mailto:cardia01@ucm.es); [gonzalor@ghis.ucm.es](mailto:gonzalor@ghis.ucm.es); [jralvare@ghis.ucm.es](mailto:jralvare@ghis.ucm.es). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5706-8733>; <https://orcid.org/0000-0002-3871-3458>; <https://orcid.org/0000-0001-7541-1080>*

Recepción: 27/12/2023; Revisión:15/02/2024; Aceptación: 6/05/2024

RESUMEN: Se ha realizado un estudio arqueométrico de un conjunto de cuentas de vidrio halladas en el *oppidum* vetón de Ulaca –Solosancho, Ávila–. Las muestras se asocian a dos contextos, la necrópolis y el Torreón, fechados entre los ss. II y I a. C. El objetivo principal ha sido determinar su composición química, sus características tecnológicas incluyendo los cromóforos responsables de su coloración, así como su posible procedencia geográfica y estado de conservación. Para ello, el conjunto se analizó mediante técnicas convencionales como lupa binocular, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo –MEBEC–, junto con microanálisis de dispersión de energía de rayos X –EDS– y espectrofotometría UV-Vis. Los resultados indican que todas las cuentas se elaboraron con un vidrio de silicato sódico cálcico de base natrón y bajo contenido de óxido de magnesio conocido como LMG –*low magnesium glass*–. La comparación de su composición química con la composición de otras cuentas de vidrio halladas también en contextos de la Edad del Hierro permite demostrar su posible procedencia del Mediterráneo oriental. Además, se identificó una cuenta muy alterada que no es de vidrio, sino muy probablemente de fayenza. La presencia de vidrios foráneos tanto en la necrópolis como en el Torreón sugiere que este material debió ser un bien preciado por las comunidades vetonas que habitaron Ulaca.

*Palabras clave:* Edad del Hierro; Península Ibérica; vetones; cuentas de vidrio; cuenta de fayenza; composición química; arqueometría; tecnología.

ABSTRACT: An archaeometric study of a set of glass beads found in the *Veton* hillfort of Ulaca –Solosancho, Ávila– has been undertaken. The samples are associated to two contexts, the necropolis and the Torreón, dated

between the 2<sup>nd</sup> and 1<sup>st</sup> centuries BC. The main goal has been determining their chemical composition, their technological characteristics including chromophores responsible for their coloration, as well as their possible geographical provenance and state of conservation. For this purpose, the ensemble was analyzed through conventional techniques such as optical stereo microscope, field emission scanning electron microscopy –FESEM– coupled with energy dispersive X-ray –EDS– microanalysis, and UV-Vis spectrophotometry. The results indicate that all the beads were made with a natron-based soda lime silicate glass with a low content of magnesium oxide known as LMG–low magnesium glass–. The comparison of their chemical composition with the composition of other glass beads also found in Iron Age contexts demonstrates their possible origin from the Eastern Mediterranean. In addition, it was identified a highly altered bead which is not made of glass but most likely of faience. The presence of non-local glass in both the necropolis and the Torreón suggests that this material must have been a precious good for the *Veton* communities that inhabited Ulaca.

*Key words:* Iron Age; Iberian Peninsula; *Veton*; Glass Beads; Faience Bead; Chemical Composition; Archaeometry; Technology.

## 1. Introducción<sup>1</sup>

Las cuentas de vidrio son un material bien conocido desde la Prehistoria Reciente en la Península Ibérica. A pesar de su pequeño tamaño y fingida sencillez, a menudo han sido consideradas elementos de prestigio con una función apotropáica y profiláctica (Ruano *et al.*, 1995), muchas veces asociadas a contextos funerarios ibéricos y púnicos, preferentemente de los ss. IV y III a. C. (Palomar *et al.*, 2009: 53-54), pero con pervivencias claras en tiempos de la conquista romana. Los casos conocidos en las tierras del interior son más excepcionales (Lorrio, 1997; Sanz Mínguez, 1997; Jiménez Ávila, 1999; García-Heras *et al.*, 2003), si bien la nómima

de hallazgos ha ido creciendo de forma significativa en los últimos años (Palomar *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2013; Carmelo *et al.*, 2019; González Hernández y López Jiménez, 2021).

Se trata de una producción altamente especializada, no siempre compatible con talleres locales, cuyo estudio cronotipológico ha servido para especular sobre su origen, discernir las preferencias ornamentales de quienes las portaron e identificar redes de distribución con el E y S peninsular. Las vemos sobre todo en forma de collares y abalorios, a veces emulando las elaboradas en piedra de la Edad del Bronce, desde cuentas tubulares hasta cónicas, bicónicas y otras distintivas y atrayentes como las gallonadas, oculadas o policromas. Sin embargo, este enfoque se revela insuficiente al abordar aspectos como la determinación de los patrones tecnológicos, las modalidades de manufactura o la identificación de talleres primarios, rasgos sólo accesibles desde un enfoque arqueométrico (Palomar *et al.*, 2009).

Recientes excavaciones arqueológicas, llevadas a cabo en la necrópolis y el Torreón del *oppidum* vetón de Ulaca –Solosancho, Ávila–, han permitido recuperar un elenco excepcional de cuentas de vidrio coloreadas, con distintos grados de opacidad, en contextos datables en los ss. II-I a. C. Dado el interés potencial del conjunto y la carencia de estudios arqueométricos sobre estos abalorios en la Meseta occidental, el objetivo principal de este trabajo consistió en llevar a cabo la caracterización arqueométrica de las piezas con el propósito de determinar la

<sup>1</sup> Los autores agradecen a los proyectos HERICARE (PID2019-104220RB-I00/MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y URBADEN (PID2021-123721OB-I00/MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE), financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación; al proyecto VETTONIA (ECT-21-17318), financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología; al programa TOP Heritage (s2018/NMT-4372), financiado por la Com. de Madrid y el FSE, y a la Diput. de Ávila en el marco del convenio de colaboración con la Univ. Complutense de Madrid para la excavación arqueológica en el Torreón de Ulaca. Asimismo, A. Pinilla agradece un contrato de Ayudante de Investigación (CAM20-IH-AI-01) y F. Quijada un contrato de Técnica de Laboratorio (CAM20-IH-TL-02), ambos del programa de Garantía Juvenil de la Comunidad de Madrid. Finalmente, los autores también expresan su agradecimiento al apoyo profesional de la Plataforma Temática Interdisciplinar del CSIC *Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad* (PTI-PAIS).

composición química y microestructural, sus características tecnológicas –incluyendo los cromóforos responsables de su coloración–, así como aportar datos para establecer su posible procedencia geográfica y su estado de conservación actual.

## 2. Contexto arqueológico

Ulaca se ubica en las cercanías de Villaviciosa, pedanía de Solosancho, Ávila (Fig. 1), y es, con sus

más de 70 ha, uno de los asentamientos fortificados de finales de la Edad del Hierro más grandes de la Península Ibérica (Ruiz Zapatero, 2005; Ruiz Zapatero *et al.*, 2020). Este gran núcleo urbano fue ocupado por una comunidad del pueblo vetón que pudo rondar los 1.500 habitantes y se convirtió en el centro más importante del Valle Amblés, donde existían previamente otros dos grandes poblados fortificados: Las Cogotas, en Cardenosa, Ávila, y La Mesa de Miranda, en Chamartín, Ávila (Ruiz Zapatero y Álvarez-Sanchís, 1995; Álvarez-Sanchís,

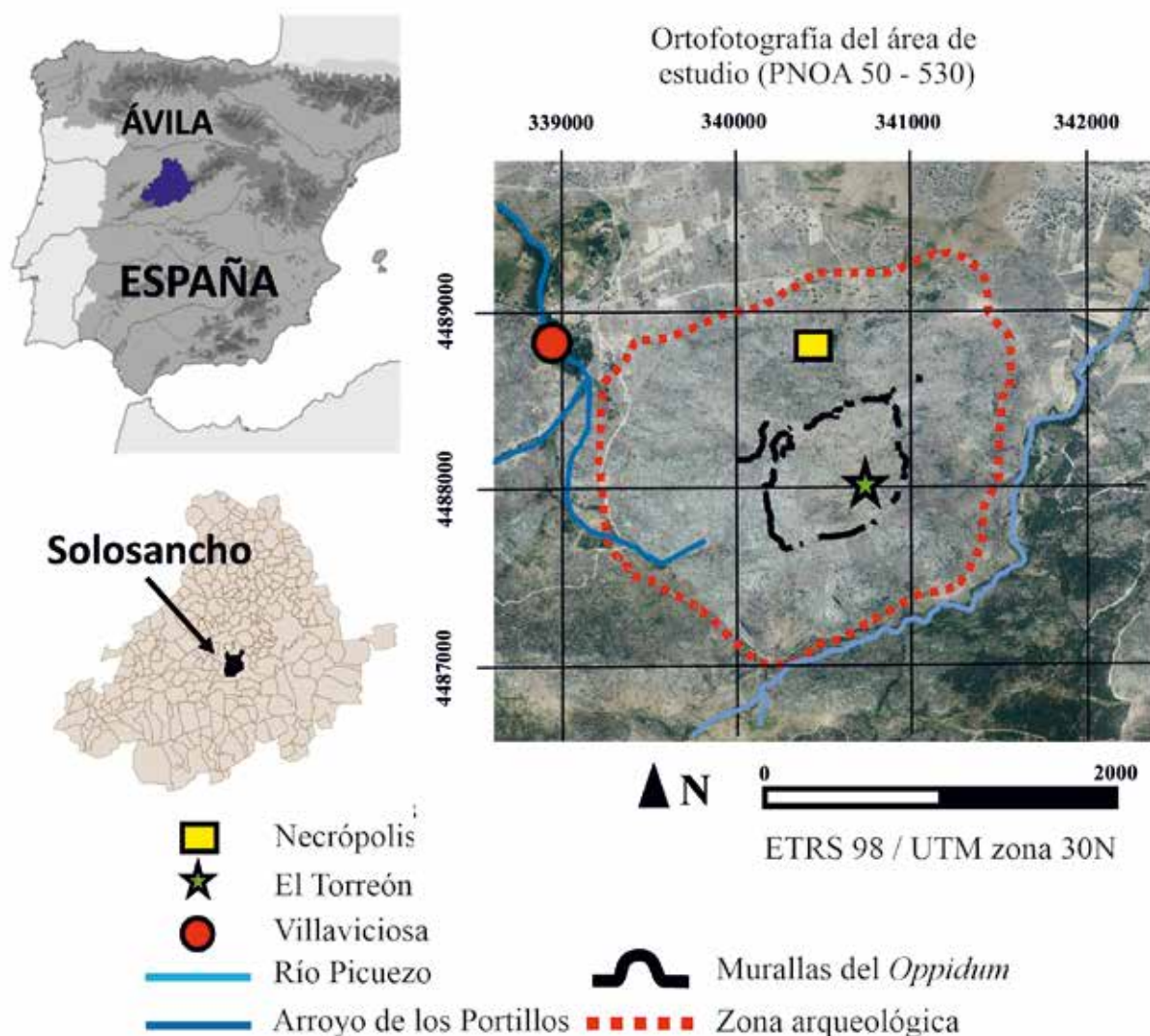


FIG. 1. Localización del oppidum de Ulaca (Solosancho, Ávila) (elaborada por M. Á. Maté-González).

2003). La comunidad que vivió en Ulaca levantó un enorme poblado organizado en diversos sectores y desapareció tras un abandono con el proceso de conquista romana y la paralela emergencia de *Obi-la*, la actual Ávila, como gran centro de población de la región.

Las noticias sobre el yacimiento se remontan al s. XIX (Ballesteros, 1896; Mariné, 1998), si bien la primera descripción exhaustiva se debe a M. Gómez-Moreno, al que se encomendó en 1901 la tarea de elaborar el catálogo monumental de la provincia de Ávila (Gómez-Moreno, 1983). Entre 1914 y 1915 el sitio fue visitado por P. Paris, R. Lantier y H. Breuil, levantando los dos últimos el plano de sus murallas (Lantier y Breuil, 1930). Sus trabajos mostraron el interés del yacimiento, con un potente sistema de fortificación, estructuras monumentales y ajuares domésticos que se relacionan con los hallados por J. Cabré (1930 y 1932) en el poblado y la necrópolis de Las Cogotas. La historia posterior está vinculada a A. Gutiérrez Palacios y C. Posac Mon, quienes a finales de los años cuarenta realizaron pequeños sondeos arqueológicos (Posac Mon, 1953; Gutiérrez Palacios, 1955), y E. Pérez Herretero, quien más tarde excavó dos casas en la zona central del yacimiento.

En los años noventa el asentamiento comenzó a ser prospectado sistemáticamente (Ruiz Zapatero y Álvarez-Sanchís, 1999; Álvarez-Sanchís, 1999: 139 y ss.; Collis, 2004) y en 2003-2004 se localizó y excavó, en la falda N del poblado, un sector

de la necrópolis formado por encachados tumulares y sepulturas de incineración en hoyo (Fig. 2A) (Ruiz Zapatero, 2005; Álvarez-Sanchís *et al.*, 2008; Rodríguez-Hernández, 2019: 215 y ss.). Entre los materiales hallados en las tumbas destaca un importante conjunto de vasos de ofrendas y cerámicas a torno correspondientes a las etapas finales de la cultura vetona, algunas piezas de bronce y hierro y cuentas de pasta vítrea –muy probablemente vidrio parcialmente fundido–. De los alrededores procede también un singular *askos* con forma de toro que sirvió como vaso de ofrendas en una de las tumbas y un denario de la ceca de *Arekorata* fechado a finales del s. II a. C. (Álvarez-Sanchís *et al.*, 2021). Estos enterramientos han aparecido sobre una zona que anteriormente fue utilizada para levantar un conjunto de estructuras artesanales que podrían revelar toda una zona de talleres y artesanías fuera del gran recinto amurallado de la ciudad.

Desde 2016 se vienen desarrollando prospecciones geofísicas y excavaciones arqueológicas con el objetivo de comprender mejor un edificio singular conocido como el “Torreón” (Fig. 2B) (Álvarez-Sanchís *et al.*, 2019; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2021; <https://www.facebook.com/proyectoUlaca/>). Se trata de una estructura en ruinas de planta rectangular –14 × 10 m– que debió tener una importante altura. Como otras estructuras y monumentos de la ciudad, el edificio debe fecharse en un momento impreciso de finales de la Edad del Hierro –ss. II-I a. C.–. Además, entre 2018 y 2019 se llevó a cabo la



FIG. 2. Excavaciones recientes en Ulaca: A) Tumba UE 40; B) Torreón y sondeo cercano.



excavación de un pequeño sondeo en una construcción rectangular de grandes dimensiones situada a unos 20 m al so del Torreón (Maté-González *et al.*, 2021). En el transcurso de dicha excavación aparecieron tres de las cuentas analizadas en el presente trabajo – UC-09, UC-10 y UC-11–.

El Torreón de Ulaca debió ser una construcción insólita en el mundo vetón del occidente de la Meseta. Una construcción elevada, con dos plantas –por la altura estimada de los paramentos según el cubicaje de los derrumbes–, además de la planta baja. Las casas de los vetones fueron de una sola planta y no hay evidencias –salvo acaso alguna vivienda del vecino *oppidum* de Las Cogotas– de la existencia de estructuras domésticas o de otro carácter más complejas. Si la interpretación que se propone es acertada, se trataría de un edificio singular en la zona más elevada del poblado –presuntamente residencia de las élites–, que debió albergar reuniones y ceremonias especiales y tal vez funcionar como almacén bien protegido de recursos y objetos preciados y, al mismo tiempo, servir de atalaya visual sobre el espacio interior del asentamiento y el entorno circundante (Álvarez-Sanchís, 1999: 150-151 y 2003: 150-151; Maté-González *et al.*, 2021; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2021). Así se puede comprender mejor su excepcionalidad constructiva y su posible significación simbólica como elemento central y esencial de la comunidad. Además, el edificio se levanta en una de las grandes plataformas naturales del cerro, rodeado de pastos y manantiales, dándose la circunstancia de que en ningún otro lugar del *oppidum* encontramos esta importante asociación de agua y alimento para el ganado. La excepcionalidad del sitio revela sin duda el importante papel que debió jugar.

Su evidente facilidad de visualización en épocas posteriores, cuando Ulaca fuera ya un des poblado en ruinas tras el abandono de las gentes de finales de la Edad del Hierro, haría

factible que esta construcción fuera objeto de alguna atención a lo largo de las centurias siguientes. La excavación pendiente del resto del edificio podría, eventualmente, documentar reutilizaciones breves o visitas más o menos episódicas o esporádicas. Su visibilidad, al ser el elemento arquitectónico más distinguible del *oppidum*, resultaría muy llamativa, sin olvidar el conocido altar, la sauna rupestre, las ruinas de casas dispersas por buena parte de su superficie y las puertas e imponentes murallas que protegían el asentamiento.

### 3. Materiales analizados y técnicas utilizadas

#### 3.1. Materiales analizados

En este trabajo se han analizado un total de 17 cuentas, algunas de ellas fragmentadas, identificadas con el número de muestra de UC-01 a UC-17 (Fig. 3). Las fotografías se han tomado con luz reflejada

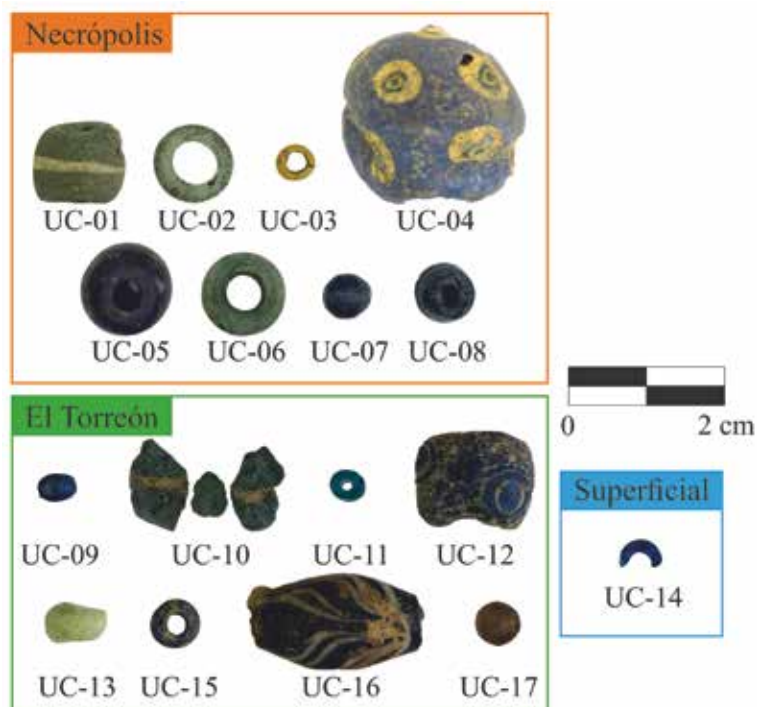


Fig. 3. Cuentas analizadas en este estudio y sus contextos arqueológicos.

MUESTRA	CONTEXTO	COLOR	ÓPTICA	FORMA
UC-01	necrópolis, UE 2	verde intenso (vb) blanco (d)	opaco	cilíndrica
UC-02	necrópolis, UE 4	incolore verde-azulado	transparente	anular
UC-03	necrópolis, UE 40	amarillo	opaco	anular
UC-04	necrópolis, UE 10	azul intenso (vb) amarillo (d) azul oscuro (d)	opaco	esférica
UC-05	necrópolis, UE 40	azul intenso	opaco	anular esférica
UC-06	necrópolis, UE 4	incolore verde-azulado	transparente	anular
UC-07	necrópolis, UE 80	azul intenso	opaco	esférica
UC-08	necrópolis, UE 71	azul intenso	opaco	cilíndrica
UC-09	torreón, UE 2003	azul intenso	transparente	cilíndrica
UC-10	torreón, UE 2003	azul-verdoso	opaco	-
UC-11	torreón, UE 2003	azul turquesa	transparente	cilíndrica
UC-12	torreón, UE 1004	azul intenso (vb) blanco (d)	opaco	cilíndrica
UC-13	torreón, UE 1004	verde claro	opaco	anular
UC-14	superficial	azul intenso	transparente	anular
UC-15	torreón, UE 1002	azul intenso	opaco	anular
UC-16	torreón, UE 1002	azul intenso (vb) blanco (d)	opaco	fusiforme/tonelete
UC-17	torreón, UE 1002	ámbar	traslúcido	esférica

FIG. 4. Descripción de las características de las cuentas analizadas (vb = vidrio base; d = decoración; - = no identificado).

y en los casos en los que el vidrio es transparente se han tomado también con luz transmitida. En la Fig. 4 se describen las características de las muestras analizadas.

- Las cuentas UC-01 a UC-08 proceden de las excavaciones realizadas en la campaña de 2004 de la necrópolis de Ulaca, y es un conjunto formado por cuentas de forma cilíndrica, anular y esférica que por lo general no superan 1,1 cm de diámetro, a excepción de la cuenta oculada UC-04 que es, además, la más grande de las 17 cuentas con 2,4 cm de diámetro. Las tonalidades son también variadas: incolora con tonalidad verde-azulada residual en las cuentas UC-02 y UC-06; verde intenso con banda blanca en diámetro en UC-01; amarilla en UC-03; azul intenso en UC-04 –decoración oculada en amarillo y azul oscuro–, UC-05, UC-07 y UC-08.
- Las cuentas UC-09 a UC-17, a excepción de la UC-14, proceden de las excavaciones realizadas

en las recientes campañas del Torreón de Ulaca –entre 2019 y 2022–, y es un conjunto formado por cuentas de forma cilíndrica, anular, fusiforme o en tonelete y esférica que no superan 1,3 cm de diámetro, a excepción de la cuenta fusiforme o en tonelete UC-16 que tiene 2,1 cm de longitud. Las tonalidades son también variadas: azul-verdosa en UC-10; verde claro en UC-13; azul turquesa en UC-11; azul intenso en UC-09, UC-12 UC-15 y UC-16, y ámbar en UC-17. Además, UC-12 presenta una decoración oculada blanca mientras que UC-16 presenta una decoración fitomorfa en el cuerpo con bandas blancas en forma de tallos

vegetales y decoración del mismo color en los rebordes, parcialmente perdidos.

- El fragmento de la cuenta anular de color azul intenso UC-14 se halló en niveles superficiales cerca de la estructura de la sauna de Ulaca y tiene 0,5 cm de diámetro.

### 3.2. Tipología de los materiales analizados

Las cuentas monocromas anulares, esféricas y cilíndricas –UC-02, UC-03, UC-05, UC-06, UC-07, UC-08, UC-09, UC-11, UC-13, UC-14, UC-15, UC-17– son tipologías muy frecuentes y abundantes en numerosos conjuntos del Mediterráneo fenicio y púnico (Ruano, 1996; Giammelaro, 2008) y están extendidas en multitud de yacimientos peninsulares del I milenio a. C. (Ruano *et al.*, 1995; Jiménez Ávila, 2001; García-Heras *et al.*, 2005; García Gandía,

2009; Gomes, 2020), constatándose también en la Meseta occidental (Ruano, 2000; Pinto *et al.*, 2020).

Las cuentas policromas con decoración oculada –UC-04 y UC-12– son numerosas en contextos del I milenio a. C. tanto en Centroeuropa (Venclová, 1983; Agua *et al.*, 2017) como en ámbitos fenicios y púnicos del Mediterráneo (Ruano, 1996). Este tipo de decoraciones se desarrollan especialmente entre los ss. VI y II-I a. C. y se distribuyen por toda la geografía peninsular (Maluquer, 1974; Berrocal, 1988; Ruano, 1995a; García-Heras *et al.*, 2005; Gomes, 2020), incluyendo ámbitos vetones de la Meseta occidental (Fernández Gómez, 2011; Baquedano, 2016; González Hernández y López Jiménez, 2021).

Las cuentas policromas con decoración fitomorfa –UC-16– no son tan habituales como las anteriores, aunque su presencia se da especialmente en algunas cuentas tubulares, cilíndricas o en tonelete de la segunda mitad del I milenio a. C. de entornos fenicio-púnicos de las islas Baleares (Amorós, 1974: fig. 24; Ruano, 1996: fig. 12.2; Nicolás, 2014: lám. 2, n.º 9) y de la Península Ibérica (Ruano *et al.*, 1997: fig. 1; Gomes, 2021: 134). Las decoraciones con bandas en diámetro de cuentas esféricas y cilíndricas –UC-01– se constatan también de forma menos frecuente en cuentas de las mismas cronologías en ámbitos fenicio-púnicos de las islas Baleares (Ruano, 1996: 56), en el SE peninsular (Ruano, 1995b) y en la Meseta occidental (Cabré *et al.*, 1932: fig. 12).

### 3.3. Técnicas utilizadas

La caracterización arqueométrica de las cuentas se ha realizado mediante las siguientes técnicas complementarias: lupa binocular, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo –MEBEC–, microanálisis por espectrometría de dispersión de energías de rayos X –EDS– y espectrofotometría ultravioleta-visible –UV-Vis–:

– Las observaciones mediante lupa binocular se realizaron con una lupa *Motic* SMZ 168, provista con una cámara digital *Moticam* 2500.

- El examen de las cuentas mediante MEBEC se llevó a cabo tanto sobre la superficie de las muestras como sobre superficies o fracturas pulidas. En las muestras UC-04, UC-10, UC-13 y UC-14 las observaciones se realizaron a partir de secciones embutidas y pulidas. Todas las muestras se recubrieron con una delgada capa de carbono como medio conductor. El equipo utilizado fue un MEB de emisión de campo de cátodo frío *Hitachi* S-4800 con tensión de aceleración de 15 kV. Las micrografías se obtuvieron tanto mediante el modo de electrones secundarios –SE– como de electrones retrodispersados –BSE–.
- Los microanálisis por EDS se realizaron con un sistema EDS Oxford X-Max de 20 mm<sup>2</sup> con resolución de 125 eV –Mn K $\alpha$ – acoplado al microscopio mencionado. La composición química de las muestras de vidrio se estimó a partir del promedio de tres medidas realizadas siempre sobre superficies o secciones pulidas, para evitar las capas externas de corrosión o alteración del material y realizar así los microanálisis sobre el cuerpo del vidrio limpio. El sistema EDS empleado se calibra de forma rutinaria usando metales puros y patrones sintéticos. No obstante, la calidad de los datos se verifica además con tres patrones de vidrio certificados de referencia de la *Society of Glass Technology* –Sheffield, Reino Unido–: patrón de vidrio n.º 7 –vidrio de silicato sódico cálcico–, patrón de vidrio n.º 8 –vidrio de silicato potásico de plomo– y patrón de vidrio n.º 10 –vidrio de silicato sódico cálcico ámbar–. El error o coeficiente de variación para los óxidos mayoritarios varía entre 0,28 y 0,46 % para SiO<sub>2</sub>, entre 1,20 y 1,36 % para Na<sub>2</sub>O y entre 2,25 y 2,51 % para CaO; mientras que para los óxidos minoritarios varía en torno al 6,65 % para MgO, en torno al 1,45 % para K<sub>2</sub>O, entre 5,93 y 8,47 % para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y sobre el 11,50 % para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El PbO muestra un coeficiente de variación del 1,34 %. El error para Cl<sup>-</sup> se sitúa alrededor del 5,50 %.
- Los cromóforos o especies químicas responsables del color de las cuentas se determinaron mediante espectrofotometría UV-Vis en todas las cuentas excepto en la muestra UC-03. Se empleó un

equipo *Ocean Optics* HR 4000 CG. Los espectros se registraron por reflexión y se recalcularon en modo absorción en el intervalo de 200 a 1.100 nm. En los espectros resulta inevitable la aparición de ruido de fondo, ya que la técnica por reflexión tiene menos precisión que cuando el espectro se registra en modo de transmisión. Para la eliminación de este ruido es preciso realizar el espectro por transmisión a partir de una lámina plano-paralela del material de aproximadamente 1 mm de espesor y pulida a espejo. Este procedimiento, que es destructivo, no se ha podido realizar en las muestras estudiadas ya que hubiera supuesto la destrucción parcial de las cuentas.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Composición química elemental de las cuentas de vidrio

En la Fig. 5 se presentan los resultados de la composición química de los vidrios base de todas las cuentas, a excepción de las cuentas UC-10 y UC-13 debido a que la primera no es un vidrio sino probablemente una fayenza y la segunda se trata de un vidrio intensamente alterado, por lo que sus resultados no son comparables con el resto de muestras.

Las 15 cuentas se realizaron con vidrios de silicato sódico cálcico del sistema  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  y muestran en general una gran homogeneidad composicional. Todas ellas presentan un elevado contenido en óxido de sodio  $-\text{Na}_2\text{O}-$  entre 12,4 y 16,7 % en peso, una baja concentración de óxido de magnesio  $-\text{MgO}-$  entre 0,3 y 0,7 % en peso; y de óxido de potasio  $-\text{K}_2\text{O}-$  entre 0,4 y 1,5 % en peso, excepto en las cuentas UC-11 y UC-12 en las que la concentración de  $\text{K}_2\text{O}$  es ligeramente superior  $-2,1$  y  $2,2$  % en peso, respectivamente-. Las bajas concentraciones de  $\text{MgO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , unidas a un contenido notable de cloro  $-\text{Cl}-$  entre 0,9 y 1,6 % en peso indican que todos los vidrios se elaboraron a partir de natrón mineral como materia prima alcalina (Henderson, 1985). Este mineral, cuyo principal lugar de extracción se localiza en los lagos de *Wadi*

*el-Natrun* en el Bajo Egipto, fue extensamente explotado desde el IV milenio a. C. hasta época tardorromana no solo para la elaboración de vidrio, sino también para aplicaciones médicas, la producción de jabón e incluso para el proceso de momificación (Shortland *et al.*, 2006). La baja concentración de óxido de magnesio permite, además, asignarlos a los vidrios llamados *low magnesium soda lime glass*  $-\text{LMG}-$ , un grupo composicional que se documenta en Europa aproximadamente entre el 800 a. C. y el 800 d. C. (Henderson, 2002). Aunque las cuentas UC-11 y UC-12 presentan concentraciones relativas de  $\text{K}_2\text{O}$  ligeramente superiores al 1,5 % en peso, se asocian también a vidrios LMG ya que, para incluirlas en el grupo de vidrios denominados *low magnesium-high potassium*  $-\text{LMHK}-$ , las concentraciones relativas de  $\text{K}_2\text{O}$  deberían situarse entre 4,0 y 6,0 % en peso (Lončarić y Costa, 2023: tab. 3).

A pesar de la homogeneidad que presentan las 15 cuentas, se pueden dividir en 3 grupos a partir de la composición química de su vidrio base:

- Grupo 1  $-\text{contenido medio de alúmina}-$ : está compuesto por la cuenta verde UC-01; las cuentas azules UC-04, UC-05, UC-07, UC-08, UC-09, UC-11, UC-12, UC-14, UC-16, y la cuenta ámbar UC-17. Su contenido de óxido de sodio  $-\text{Na}_2\text{O}-$  se sitúa entre 12,4 y 16,7 % en peso, de óxido de calcio  $-\text{CaO}-$  entre 5,1 y 9,7 % en peso y de sílice  $-\text{SiO}_2-$  entre 65,2 y 76,1 % en peso. El contenido de alúmina  $-\text{Al}_2\text{O}_3-$  se sitúa entre 1,5 y 2,5 % en peso. La cuenta UC-01 es la única de este grupo que contiene una cantidad importante de óxido de plomo  $-\text{PbO}$ ; 6,2 % en peso (Figs. 5 y 6, cuentas resaltadas en morado).
- Grupo 2  $-\text{contenido menor de alúmina}-$ : está compuesto por las cuentas incoloras con tonalidad verde-azulada residual UC-02 y UC-06 y la cuenta azul UC-15. Su contenido de óxido de sodio  $-\text{Na}_2\text{O}-$  se sitúa entre 13,0 y 15,7 % en peso, de óxido de calcio  $-\text{CaO}-$  entre 7,3 y 9,1 % en peso y de sílice  $-\text{SiO}_2-$  entre 73,0 y 74,5 % en peso. El contenido de alúmina  $-\text{Al}_2\text{O}_3-$  se sitúa en este grupo entre 0,8 y 1,1 % en peso, ligeramente inferior al del Grupo 1 (Figs. 5 y 6, cuentas resaltadas en color pastel).



MUESTRA	COLOR	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
UC-01	verde intenso	13,0	0,6	1,9	65,2	0,2	1,4	1,3	9,7	---	---	---	0,4	---	6,2
UC-02	incoloro verde-azulado	14,9	0,3	0,8	74,5	---	1,3	0,4	7,3	---	0,4	---	---	---	---
UC-03	amarillo	13,0	0,5	3,6	52,8	---	1,2	0,8	2,8	---	---	---	---	1,2	24,1
UC-04	azul intenso	15,3	0,6	1,8	68,9	---	1,6	0,8	8,8	1,4	0,8	---	---	---	---
UC-05	azul intenso	15,9	0,5	1,9	73,2	0,6	1,1	0,8	5,1	---	0,8	---	---	---	---
UC-06	incoloro verde-azulado	15,7	0,5	0,8	73,0	---	1,3	0,5	8,0	---	0,3	---	---	---	---
UC-07	azul intenso	16,7	0,6	2,5	68,3	---	1,3	0,9	7,5	0,4	1,6	0,2	---	---	---
UC-08	azul intenso	14,2	0,7	2,1	73,3	---	1,0	0,8	7,5	---	0,5	---	---	---	---
UC-09	azul intenso	14,7	0,6	2,1	70,4	---	0,9	1,5	7,4	1,2	0,9	0,2	---	---	---
UC-11	azul turquesa	14,3	0,6	1,9	71,5	---	1,3	2,1	6,7	---	0,3	---	1,3	---	---
UC-12	azul intenso	12,4	0,4	1,5	76,1	---	1,2	2,2	6,1	---	---	0,1	---	---	---
UC-14	azul intenso	13,9	0,6	2,0	72,4	---	1,2	0,6	8,0	0,6	0,7	0,1	---	---	---
UC-15	azul intenso	13,0	0,5	1,1	73,5	---	1,6	0,6	9,1	---	0,6	---	---	---	---
UC-16	azul intenso	13,4	0,3	2,4	73,8	---	1,6	1,0	6,6	0,8	---	---	---	---	---
UC-17	ámbar	15,1	0,5	2,1	72,6	0,2	1,1	1,0	7,1	---	0,3	---	---	---	---

FIG. 5. Resultados de los microanálisis mediante EDS en el cuerpo del vidrio (% en peso) (--- no detectado). Cuentas del Grupo 1 = morado; cuentas del Grupo 2 = pastel; cuenta del Grupo 3 = amarillo.

- Grupo 3 –contenido mayor de alúmina–: está compuesto únicamente por la cuenta amarilla opaca UC-03. Las concentraciones de sílice –SiO<sub>2</sub>; 52,8 % en peso– y de óxido de calcio –CaO; 2,8 % en peso– son las más bajas de todas las muestras analizadas, mientras que el contenido de alúmina es el más elevado –Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3,6 % en peso–. Las concentraciones notables de óxido de plomo –PbO; 24,1 % en peso– y de óxido de antimonio –Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,2 % en peso– relacionados con la adición de antimoniatos de plomo para conseguir la opacidad y el color amarillo del vidrio es lo que más diferencia a esta cuenta del resto de vidrios analizados (Figs. 5 y 6, cuenta resaltada en amarillo).

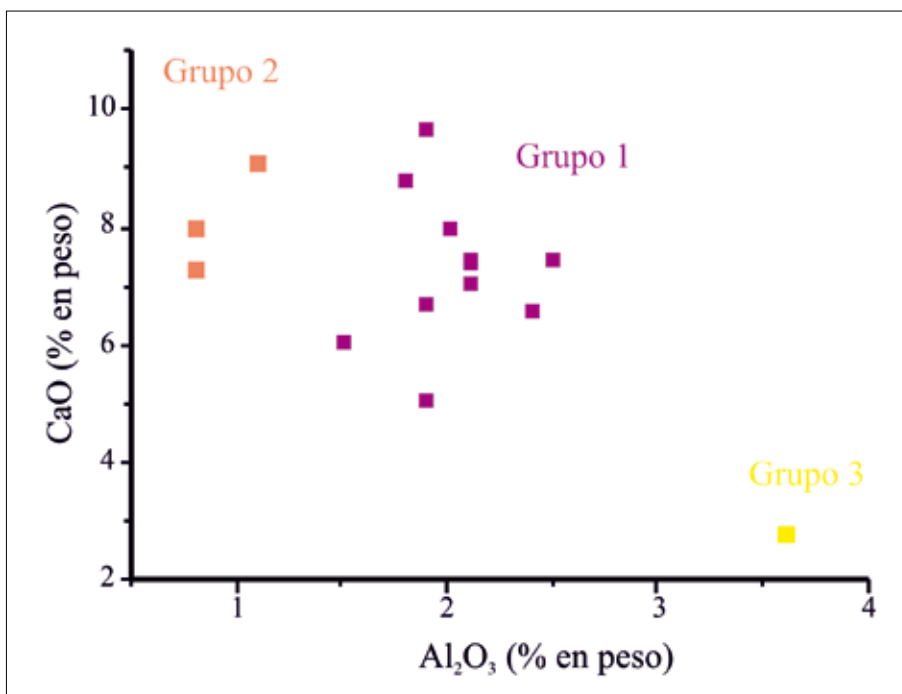


FIG. 6. Diagrama binario Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / CaO que muestra los 3 grupos a partir de la composición química del vidrio base.

En la Fig. 7 se presentan los resultados de la composición química de los vidrios utilizados en las decoraciones de las cuentas UC-01 –banda–, UC-04 y UC-12 –óculos– y UC-16 –bandas–. Los datos indican que los vidrios blancos y azules de las

MUESTRA	COLOR	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
UC-01	blanco –banda–	12,8	0,6	2,0	67,2	0,9	0,7	1,6	9,8	---	---	---	0,1	4,5	---
UC-04	amarillo –óculo–	9,7	0,4	1,6	53,1	---	1,0	0,2	6,0	---	1,4	---	---	2,7	23,9
UC-04	azul oscuro –óculo–	14,7	0,8	1,8	69,0	---	1,2	0,9	9,9	0,6	0,8	0,3	---	---	---
UC-12	blanco –óculo–	12,4	0,1	1,3	69,7	---	0,8	1,8	9,7	---	---	---	---	4,1	---
UC-16	blanco –banda–	10,9	0,3	2,2	73,1	---	1,1	0,8	7,7	---	---	---	---	3,9	---

FIG. 7. Resultados de los microanálisis mediante EDS en el vidrio de las decoraciones (% en peso) (--- = no detectado). Decoración de vidrios del Grupo 1 (morado) y decoración de vidrios del Grupo 3 (amarillo).

decoraciones, aparte de la adición de antimoniato de calcio y de óxido de manganeso, respectivamente, como se verá en el apartado siguiente de cromóforos, son muy similares composicionalmente a los vidrios base de las cuentas, especialmente a los vidrios de las cuentas del Grupo 1. En el caso de la decoración amarilla de UC-04, el vidrio utilizado es bastante similar al empleado en la cuenta UC-03 del Grupo 3, aunque el vidrio de la decoración tiene menores concentraciones de óxido de sodio  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 9,7 frente a 13,0 % en peso-, probablemente debido a que está algo desalcalinizado, y mayores concentraciones de óxidos de calcio  $\text{CaO}$ ; 6,0 frente a 2,8 % en peso- y de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1,4 % en peso y no detectado en UC-03-.

Los diagramas ternarios  $\text{Al}_2\text{O}_3$  /  $\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$  /  $\text{CaO}$  (Fig. 8A-B) presentan los tres grupos identificados en las muestras de Ulaca en comparación con estos mismos óxidos en otras cuentas analizadas de la Edad del Hierro. En dicha comparación se descartaron aquellos análisis que presentaban evidencias notables de desalcalinización superficial u otras alteraciones que pudieran desvirtuar la comparación de los datos de composición química. Estas cuentas presentan una cronología entre los ss. VI y I a. C y proceden de:

- El interior de la Península Ibérica: necrópolis de Numancia –Garray, Soria, s. II a. C.– (García-Heras *et al.*, 2005), El Jardal –Herrera del Duque, Badajoz, s. V a. C.– (Ruano *et al.*, 1997), Palomar de Pintado –Villafranca de los Caballeros, Toledo, ss. V-III a. C.– (Conde *et*

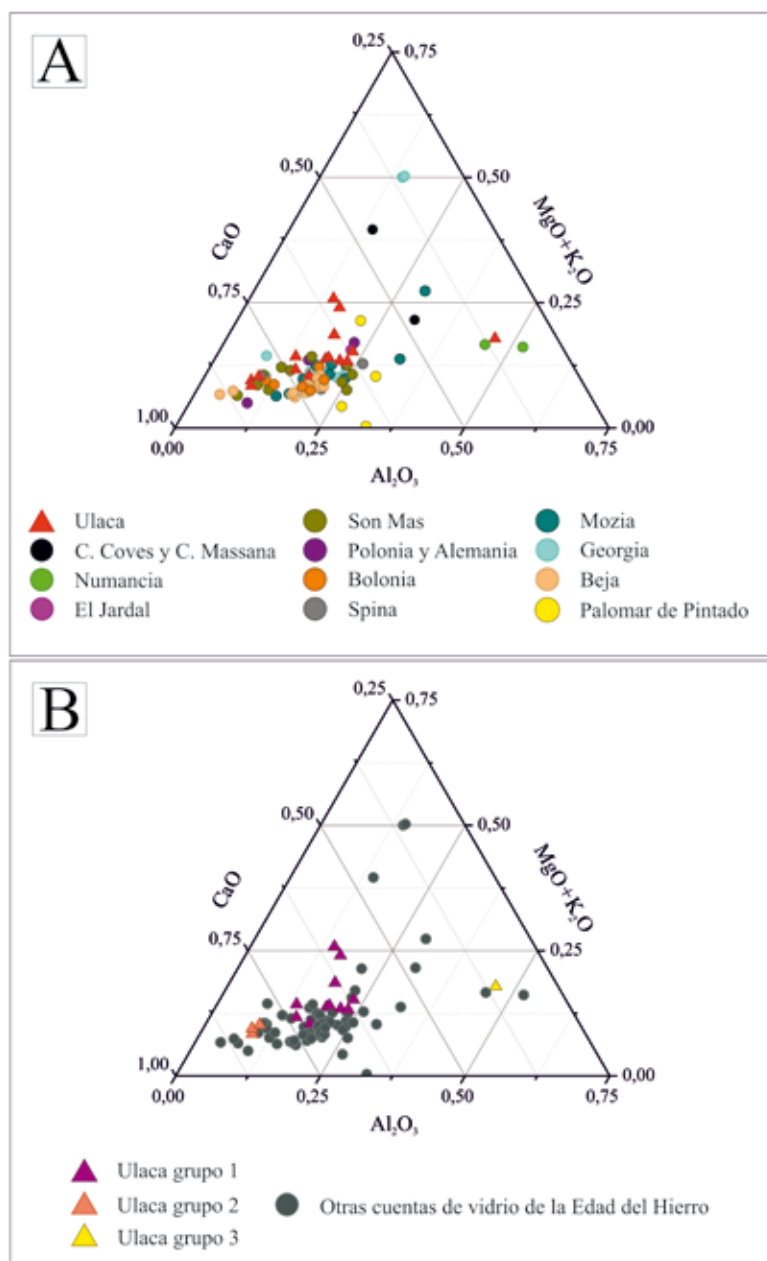


FIG. 8. Diagramas ternarios de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  /  $\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$  /  $\text{CaO}$  (% en peso): A) posición de las cuentas de Ulaca frente a cuentas de la Península Ibérica, Centroeuropa y el Mediterráneo; B) posición de las cuentas de Ulaca según su grupo composicional frente al resto de cuentas anteriores. Datos tomados de las siguientes referencias: C. Coves y C. Massana (Rincón, 1993), Numancia (García-Heras *et al.*, 2005), El Jardal (Ruano *et al.*, 1997), Son Mas (Strydonck *et al.*, 2018), Polonia y Alemania (Agua *et al.*, 2017), Bolonia y Spina (Arletti *et al.*, 2010), Mozia (Arletti *et al.*, 2012), Georgia (Shortland y Schroeder, 2009), Beja (Costa *et al.*, 2021) y Palomar de Pintado (Conde *et al.*, 2016).

- al., 2016) y Vinha das Calças –Beja, Portugal, s. VI a. C.– (Costa *et al.*, 2021).
- Las islas Baleares: contextos funerarios de Cales Coves –Menorca– y Cova Massana –Mallorca–, ambos entre los ss. IV y II a. C. (Rincón, 1993) y el santuario de Son Mas –Mallorca, ss. IV-III a. C. y posteriores al s. II a. C.– (Strydonck *et al.*, 2018).
  - Centroeuropa: contextos culturales del yacimiento de Kozów –Polonia, ss. VI-V a. C.–, la fortaleza de Starosiedle –Polonia, ss. V-IV a. C.– y el asentamiento celta de Altdorf –Alemania, ss. VI y V a. C.– (Agua *et al.*, 2017).
  - Italia: necrópolis etruscas de *Spina* –Espina– y *Felsina* –actual Bolonia–, ambas entre los ss. VI y III a. C. (Arletti *et al.*, 2010) y necrópolis del asentamiento fenicio-púnico en la isla de Mozia –ss. VI-IV a. C.– (Arletti *et al.*, 2012).
  - El litoral sur del Mar Negro: necrópolis de *Pichvnari* en la región de la Cólquida –actual Georgia, finales del s. V a. C.– (Shortland y Schroeder, 2009).

La comparación permite comprobar que los vidrios de las cuentas de Ulaca son similares en composición a los procedentes de otros sitios de la Edad del Hierro peninsular y del Mediterráneo, tanto para los Grupos 1 y 2 con menores cantidades de alúmina como para el Grupo 3 con mayores concentraciones de alúmina. Las otras cuentas son también de vidrios de silicato sódico cálcico de base natrón, con coloraciones muy similares obtenidas en su mayoría por los mismos procedimientos respecto al azul cobalto, al azul turquesa y a los microcristales de antimoniato de calcio para el vidrio blanco o de antimoniato de plomo para el vidrio amarillo, procedimientos que se verán con más detalle en el apartado siguiente de cromóforos.

A partir de su composición química, las cuentas halladas en Ulaca se asemejan a las halladas en entornos fenicio-púnicos del Mediterráneo occidental como Son Mas (Strydonck *et al.*, 2018) y la isla de Mozia (Arletti *et al.*, 2012) y del so peninsular como en Beja (Costa *et al.*, 2021). Además, su composición química es muy similar a otras cuentas con cronologías anteriores halladas en el interior

peninsular y procedentes de El Jardal (Ruano *et al.*, 1997) y Palomar de Pintado (Conde *et al.*, 2016). Por último, muestran una homogeneidad composicional evidente con las cuentas de contextos etruscos de *Spina* y Bolonia (Arletti *et al.*, 2010), así como algunas de las cuentas del asentamiento griego de *Pichvnari* en el litoral meridional del Mar Negro (Shortland y Schroeder, 2009). Sin embargo, las cuentas numantinas (García-Heras *et al.*, 2005) se alejan del conjunto debido a sus altas concentraciones relativas de  $Al_2O_3$ , al igual que la cuenta del Grupo 3 UC-03. En todos los casos se trata de cuentas que han llegado como producto del comercio o intercambio de talleres primarios situados en el Mediterráneo oriental. Los estudios de elementos minoritarios y elementos traza de las cuentas de Son Mas –Mallorca– y Beja –Portugal– permitieron determinar diversos grupos composicionales de posible procedencia egipcia y levantina (Strydonck *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2021). Los vidrios del Grupo 1 de Ulaca tienen una composición química similar a la de los vidrios de Son Mas y de Beja de procedencia mayoritariamente levantina – $Al_2O_3$ ; entre 1,5 y 2,5 % en peso–, mientras que los vidrios del Grupo 2 de Ulaca tienen una composición química similar a la de los vidrios de Son Mas y de Beja de probable procedencia egipcia – $Al_2O_3$ ; inferior a 1,5 % en peso– (Fig. 8A-B).

Por tanto, a partir de estos resultados se infiere que las cuentas de vidrio halladas en Ulaca no se han producido en territorio vetón, sino que llegaron al asentamiento como consecuencia de procesos comerciales y/o de intercambio entre las poblaciones indígenas y gentes de distintas zonas del Mediterráneo oriental tanto del entorno de Egipto como de la costa sirio-palestina.

#### 4.2. Caracterización de los cromóforos de las cuentas de vidrio

Las cuentas analizadas presentan una variedad de cromóforos, tanto iónicos como debidos a microcristales –blanco y amarillo opacos–.

A partir de cromóforos iónicos se han obtenido el color verde, la tonalidad verde-azulada residual de los vidrios incoloros y el azul intenso o cobalto:

- Los colores verdes de las muestras UC-01 y UC-13 se deben a la presencia de iones  $\text{Cu}^{2+}$  detectados en el espectro de absorción visible con su característica banda de absorción ancha en torno a 800 nm, y de iones  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^{4+}$  –en el caso de UC-01– o  $\text{Fe}^{3+}$  –en el caso de UC-13– con un borde de absorción que se ve desplazado hasta unos 450 nm (Fig. 9A). La suma cromática

del tono azul impartido por los iones  $\text{Cu}^{2+}$  y del tono amarillento impartido por los iones  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^{4+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$  da como resultado el color verde de los vidrios, un verde intenso en UC-01 y un verde claro en UC-13. En los microanálisis EDS se detectó la presencia de óxido de cobre en ambas cuentas – $\text{CuO}$ ; 0,4 % en peso en UC-01 y 3,6 % en peso en UC-13–, así como de óxido de plomo en UC-01 – $\text{PbO}$ ; 6,2 % en peso– y óxido de hierro en UC-13 – $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1,3 % en peso– (Figs. 5 y 10A, zona de análisis 1).

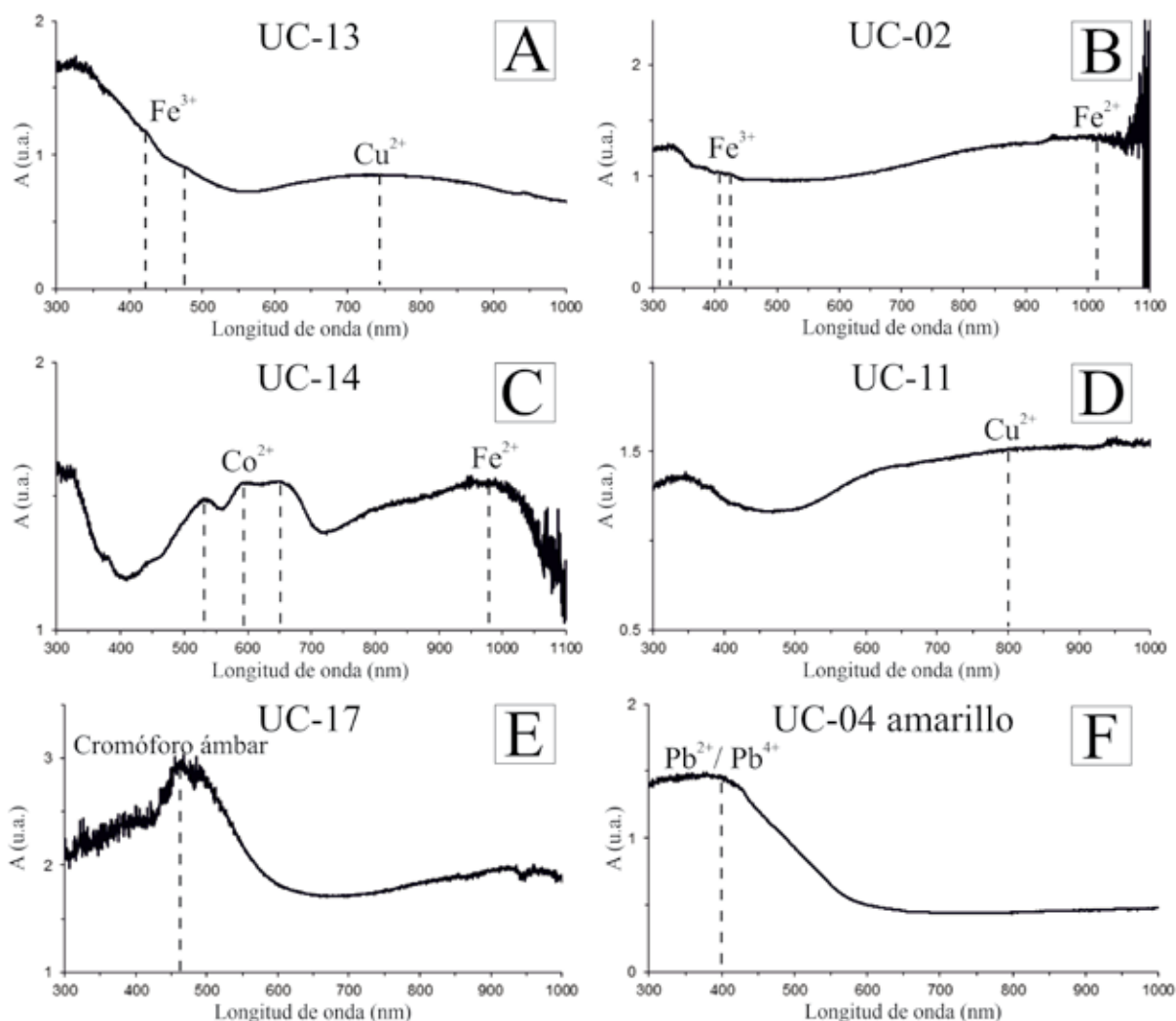


FIG. 9. Espectros de absorción visible de algunas de las cuentas analizadas: A) verde; B) verde-azulado residual; C) azul intenso; D) azul turquesa; E) ámbar; F) amarillo.



- La coloración verde-azulada residual de las muestras incoloras UC-02 y UC-06 se debe a la presencia de pequeñas concentraciones de óxido de hierro inferiores a 0,4 % en peso (Fig. 5). En su forma reducida  $-\text{Fe}^{2+}$  imparte una tonalidad azul a los vidrios, mientras que en su forma oxidada  $-\text{Fe}^{3+}$  aporta una tonalidad amarilla. La adición cromática de los tonos azules y amarillos da como resultado la tonalidad verde-azulada de la cuenta. En el espectro de absorción visible de ambas cuentas se observa una banda de absorción de poca intensidad y muy ancha entre 1.000 y 1.100 nm aproximadamente, que se puede asignar a la presencia de iones  $\text{Fe}^{2+}$ , y las bandas a 420 y 440 nm aproximadamente, que se pueden asignar a la presencia de iones  $\text{Fe}^{3+}$ . En la Fig. 9B tanto las bandas asignadas a iones  $\text{Fe}^{2+}$  como a iones  $\text{Fe}^{3+}$  se muestran poco definidas ya que el espectro se obtuvo por reflexión. La banda de iones  $\text{Fe}^{2+}$  suele ser bastante intensa y continuar en la región del infrarrojo, como ocurre en el espectro a pesar del ruido de fondo.
- El color azul oscuro de las muestras UC-04, UC-05, UC-07, UC-08, UC-09, UC-12, UC-14, UC-15 y UC-16 se debe a la presencia de iones  $\text{Co}^{2+}$  detectados en el espectro de absorción visible con su característica banda de absorción en forma de triplete a 550, 600 y 650 nm, respectivamente. El equipo EDS detectó pequeñas concentraciones de óxido de cobalto  $-\text{CoO}$  entre 0,1 y 0,3 % en peso  $-\text{por encima del límite de detección del equipo}$  en la mayoría de las cuentas azules  $-\text{UC-04, UC-07, UC-09, UC-12 y UC-14}$ , cantidades suficientes para impartir un color azul intenso al vidrio (Fernández Navarro, 2003). La presencia de pequeñas concentraciones de óxido de hierro  $-\text{Fe}_2\text{O}_3$  contribuye a la tonalidad azulada del vidrio, detectándose por EDS en las cuentas UC-04, UC-05, UC-07, UC-08, UC-09, UC-14 y UC-15 entre 0,5 y 1,6 % en peso (Fig. 5). Las cuentas UC-14 y UC-15 presentan, además de los iones  $\text{Co}^{2+}$ , una banda muy ancha entre 1.000 y 1.100 nm aproximadamente, que se asigna a la presencia de iones  $\text{Fe}^{2+}$  (Fig. 9c). La suma cromática de las tonalidades azules generadas por los iones  $\text{Co}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  da como resultado el azul intenso de ambas cuentas. Por su parte, las pequeñas concentraciones de óxido de manganeso  $-\text{MnO}$  entre 0,4 y 1,2 % en peso detectadas por EDS en las cuentas UC-04, UC-07, UC-09, UC-14 y UC-16 (Figs. 5 y 7) contribuyen a que el azul sea más oscuro. Junto a  $\text{CoO}$  en los análisis por EDS siempre se detectaron concentraciones notables tanto de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $-\text{entre 0,5 y 1,6 \% en peso}$  como de  $\text{MnO}$   $-\text{entre 0,4 y 1,4 \% en peso}$ . Aunque no son muy numerosas en la bibliografía, hay registradas cuentas azul cobalto que a su vez también muestran notables contenidos de óxidos de hierro y de manganeso en Son Mas  $-\text{Mallorca}$  (Strydonck *et al.*, 2018, cuentas SM-9 y SM-11), en Mozia  $-\text{Italia}$  (Arletti *et al.*, 2012, muestra MZ-20b), en Pichvnari  $-\text{Georgia}$  (Shortland y Schroeder, 2009, muestra Pic46a) y en *Apollonia Pontica*  $-\text{Bulgaria}$  (Lyubomirova *et al.*, 2014, muestra G-507), entre otros lugares.
- El color azul turquesa de la muestra UC-11 se debe a la presencia de iones  $\text{Cu}^{2+}$  detectados en el espectro de absorción visible con su característica banda ancha centrada en torno a 800 nm. En la Fig. 9D dicha banda no se muestra bien definida. Sin embargo, lo importante en el espectro de esta figura es que no se identifica la característica banda de absorción en forma de triplete a 550, 600 y 650 nm correspondiente a los iones  $\text{Co}^{2+}$ , lo cual significa que la tonalidad azul turquesa puede asignarse con certeza a la presencia de iones  $\text{Cu}^{2+}$ . Además, se detectaron por EDS bajas concentraciones de óxido de cobre  $-\text{CuO}$ ; 1,3 % en peso, responsables de la tonalidad azulada, y de óxido de hierro  $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 0,3 % en peso, responsables de producir un tono verdoso a la cuenta en forma de iones  $\text{Fe}^{3+}$  (Fig. 5).
- El color ámbar de la muestra UC-17 se debe a la presencia de iones  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{S}^{2-}$  detectados en el espectro de absorción visible con una banda ancha centrada en unos 450 nm y que es característica del cromóforo ámbar (Fig. 9E). En los microanálisis EDS se detectan, además, unas bajas

concentraciones de óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 0,3 % en peso— y de óxido de azufre  $\text{SO}_3$ ; 0,2 % en peso— responsables de la coloración ámbar de la cuenta (Fig. 5). La producción de un vidrio ámbar con este procedimiento requiere de un estricto control de la atmósfera dentro del horno, donde deben coexistir iones de hierro en su estado más oxidado  $\text{Fe}^{3+}$ — y azufre en su estado reducido  $\text{S}^{2-}$ —. Además, las concentraciones de óxido de hierro deben estar comprendidas, como en la cuenta UC-17, entre 0,15 y 0,4 % en peso (Fernández Navarro, 2003). La elaboración de vidrio de color ámbar con este procedimiento tecnológico está documentada en otras cuentas de la Edad del Hierro tratadas en este trabajo como en la necrópolis de Numancia (García-Heras *et al.*, 2003; 2005: 736) y la necrópolis de Vinha das Calças —Beja, Portugal— (Costa *et al.*, 2021).

Los cromóforos debidos a microcristales se han usado para obtener los colores blanco y amarillo:

- El color blanco opaco de las decoraciones de las muestras UC-01, UC-12 y UC-16 se debe a la presencia de microcristales de antimonio de calcio repartidos regularmente en el vidrio. En los microanálisis EDS de los microcristales se detectan notables concentraciones de óxido de antimonio  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ — entre 45,5 y 58,6 % en peso y de óxido de calcio  $\text{CaO}$ — entre 14,4 y 21,2 % en peso. Tienen un tamaño individual inferior a 5  $\mu\text{m}$ , aunque en algunas ocasiones forman agregados de varios microcristales con un tamaño de 12-14  $\mu\text{m}$  en las cuentas UC-01 y UC-16 y de 60  $\mu\text{m}$  en la cuenta UC-12 (Fig. 10B-D, zonas de análisis 2-4). Estos microcristales son los responsables de generar un color blanco en el vidrio y actúan como opacificante.
- El color amarillo opaco de la muestra UC-03 y la decoración oculada de la muestra UC-04 se debe a la presencia de microcristales de antimonio de plomo dispersos en el vidrio. En los microanálisis EDS de los microcristales se detectan importantes concentraciones de óxidos de antimonio  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ; 15,8 % en peso en UC-03 y 20,0 % en peso en UC-04— y de plomo  $\text{PbO}$ ; 42,9 %

en peso en UC-03 y 42,1 % en peso en UC-04—. Tienen un tamaño individual inferior a 5  $\mu\text{m}$ , aunque en algunas ocasiones forman agregados con un tamaño aproximado de 9  $\mu\text{m}$  en la cuenta UC-03 y de 20  $\mu\text{m}$  en la cuenta UC-04 (Fig. 10E-F, zonas de análisis 5 y 6). Estos microcristales son los responsables de generar un color amarillento en el vidrio y actúan como opacificante. En el espectro de absorción visible del vidrio amarillo se observa un desplazamiento del borde de absorción debido a la presencia de iones  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^{4+}$  hacia mayores longitudes de onda que penetra en la zona visible hasta unos 400 nm y que imparte al vidrio un color amarillo (Fig. 9F).

#### 4.3. Estado de conservación

Todas las muestras presentan signos evidentes de degradación en su superficie como consecuencia del ataque hidrolítico experimentado por el vidrio en un medio de enterramiento con elevada humedad. Estos signos de degradación se manifiestan, en fases más o menos avanzadas, en forma de picaduras y cráteres frecuentemente interconectados y rellenos de productos de corrosión del vidrio y restos oscuros del sedimento en el que permanecieron enterradas (Fig. 11A-D). El vidrio de la cuenta UC-13 ha experimentado un evidente proceso de desalcalinización superficial común en los vidrios arqueológicos (García-Heras *et al.*, 2023), como demuestran las bajas concentraciones de óxido de sodio  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 3,3 % en peso— y el enriquecimiento relativo de la sílice  $\text{SiO}_2$ ; 84,5 % en peso— detectados por EDS (Fig. 10A, zona de análisis 1), y la formación de microfisuras y capas de gel de sílice parcialmente desprendidas en su superficie (Fig. 11C). Algunas de las muestras presentan, además, burbujas en el cuerpo del vidrio, lo que indica un afinado deficiente durante el proceso de producción del vidrio (Fig. 11D). Otros signos de alteración se detectan en forma de dendritas (Fig. 11D) y rayas (Fig. 11E) posiblemente originadas por una acción mecánica de abrasión en el medio de enterramiento.

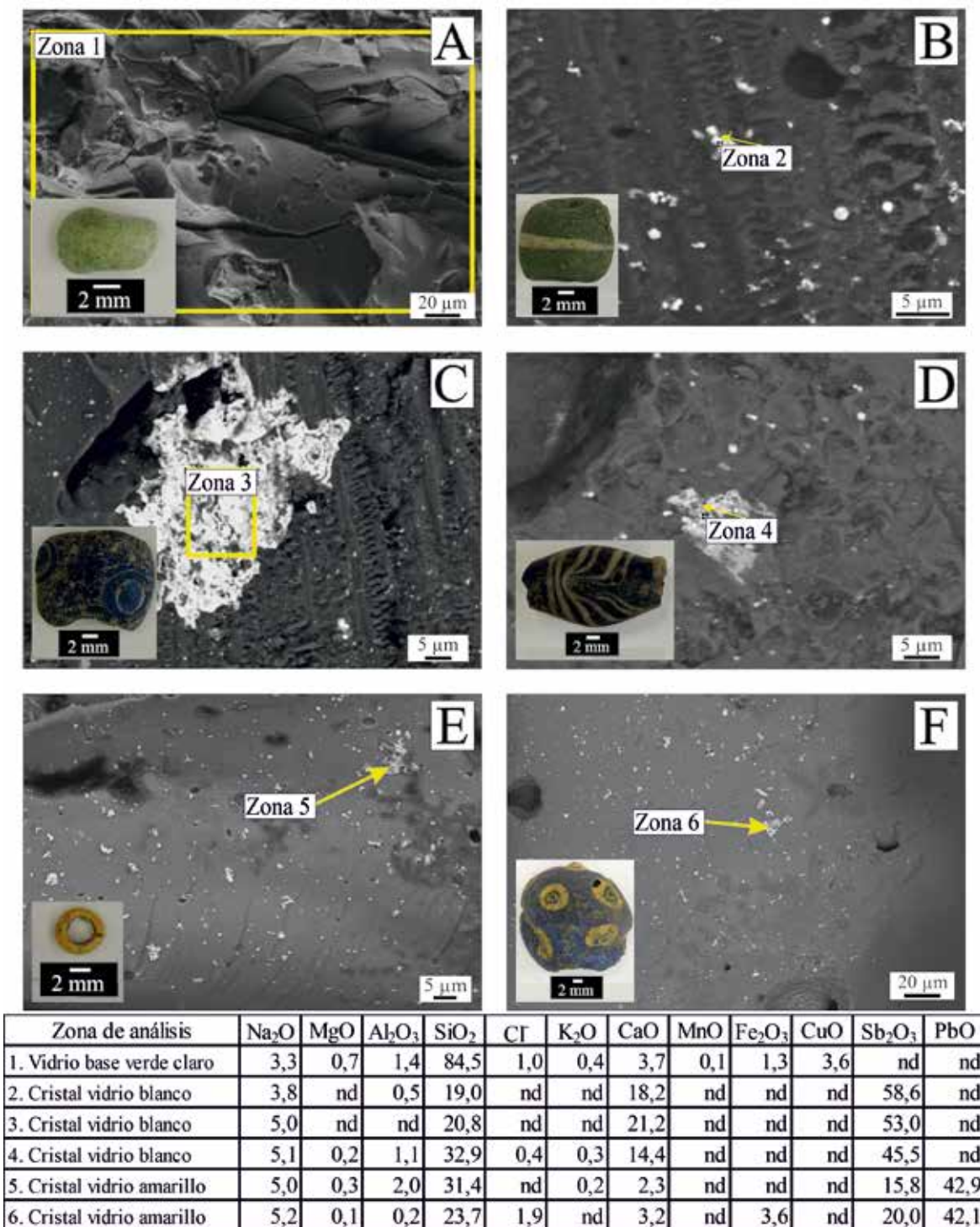


FIG. 10. Imágenes de MEBEC (en modo SE y BSE) y microanálisis EDS de las cuentas analizadas (% en peso) (nd = no detectado): A) sección pulida de la cuenta UC-13; B) superficie pulida de la cuenta UC-01; C) superficie pulida de la cuenta UC-12; D) superficie pulida de la cuenta UC-16; E) superficie pulida de la cuenta UC-03; F) sección pulida de la cuenta UC-04.

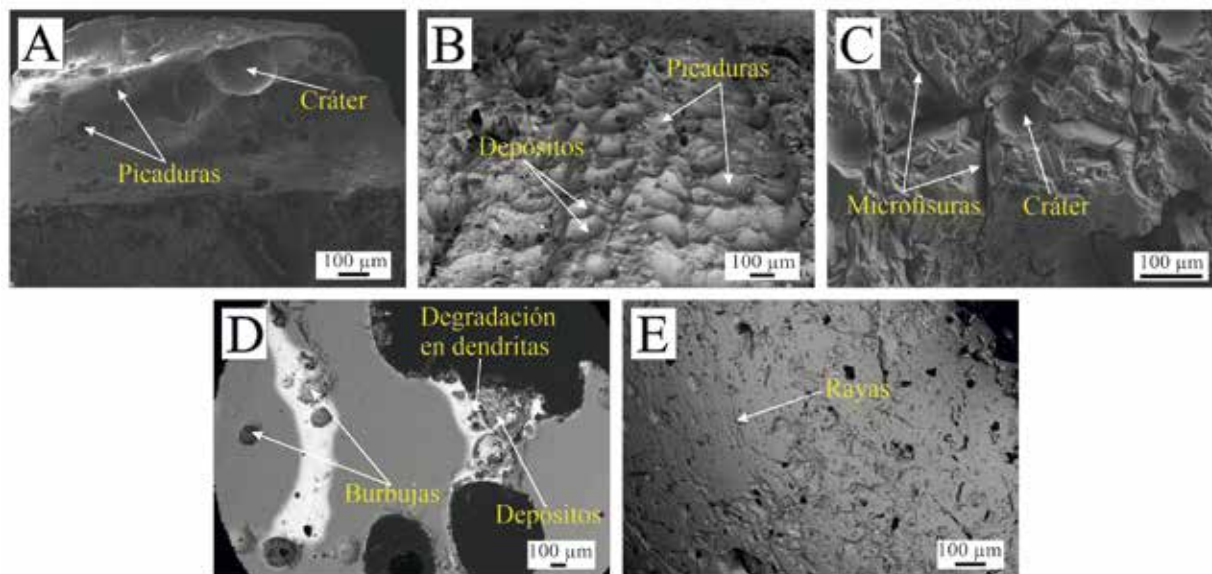


FIG. 11. Imágenes de MEBEC (en modo SE y BSE) de las cuentas analizadas: A) superficie de fractura de la cuenta UC-03; B) superficie de la cuenta UC-12; C) superficie de la cuenta UC-13; D) sección pulida de la cuenta UC-04; E) superficie de la cuenta UC-15.

#### 4.4. Cuenta de fayenza y azul egipcio

Los fragmentos de la cuenta azul-verdosa UC-10, de aspecto terroso y pulverulento, presentan una microestructura granular y porosa muy heterogénea y alterada, sin presencia aparente de fase vítrea (Fig. 12A). El material está formado por agrupaciones de inclusiones angulares e irregulares identificadas en las micrografías en modo de electrones retrodispersados con una tonalidad grisácea y abundantes cristales de hábito tabular de tonalidad clara diseminados por toda la muestra (Fig. 12B). Las inclusiones, cuyos microanálisis EDS determinaron unas concentraciones de sílice  $-\text{SiO}_2-$  de 100,0 % en peso (Fig. 12 B, junto a zona de análisis 1), son granos de cuarzo procedentes de arenas. Junto a estos, se detectaron depósitos con presencia de óxidos de fósforo  $-\text{P}_2\text{O}_5-$ ; 2,0 % en peso– y de calcio  $-\text{CaO}$ ; 1,9 % en peso– (Fig. 12 B, junto a zona de análisis 2), que se asignan a la presencia de depósitos de fosfato de calcio procedentes probablemente de los sedimentos del enterramiento. Los cristales tabulares tienen unas concentraciones notables de sílice  $-\text{SiO}_2-$ ; 61,7

% en peso–, de óxidos de calcio  $-\text{CaO}$ ; 15,2 % en peso– y de cobre  $-\text{CuO}$ ; 22,7 % en peso– (Fig. 12B, zona de análisis 3). La estequiometría de Si, Ca y Cu permite asignarlos a cristales de tetrasilicato de calcio y cobre o cuprorivaíta  $-\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}-$ , fase que se forma en la elaboración de azul egipcio, un pigmento sintético ampliamente utilizado en la producción de objetos suntuarios en Egipto y el Próximo Oriente desde el IV-III milenio a. C. Estos cristales se formaban por el calentamiento de cuarzo, carbonato cálcico, compuestos de cobre y un álcali a una temperatura comprendida entre  $-850$  y  $1.000$  °C, mezcla conocida en la bibliografía como frita de azul egipcio que se incorporaba al material vítreo para aportar las características tonalidades azul turquesa o verdosa (Hatton *et al.*, 2008; Toffolo *et al.*, 2013).

El espectro de absorción visible de la cuenta UC-10 presenta una banda intensa en torno a 600 nm y dos bandas menos intensas en torno a 530 y 800 nm, que pueden asignarse a distintas transiciones electrónicas de los iones  $\text{Cu}^{2+}$  en la fase cuprorivaíta (Accorsi *et al.*, 2009; Allen, 2019) (Fig. 12c). Por



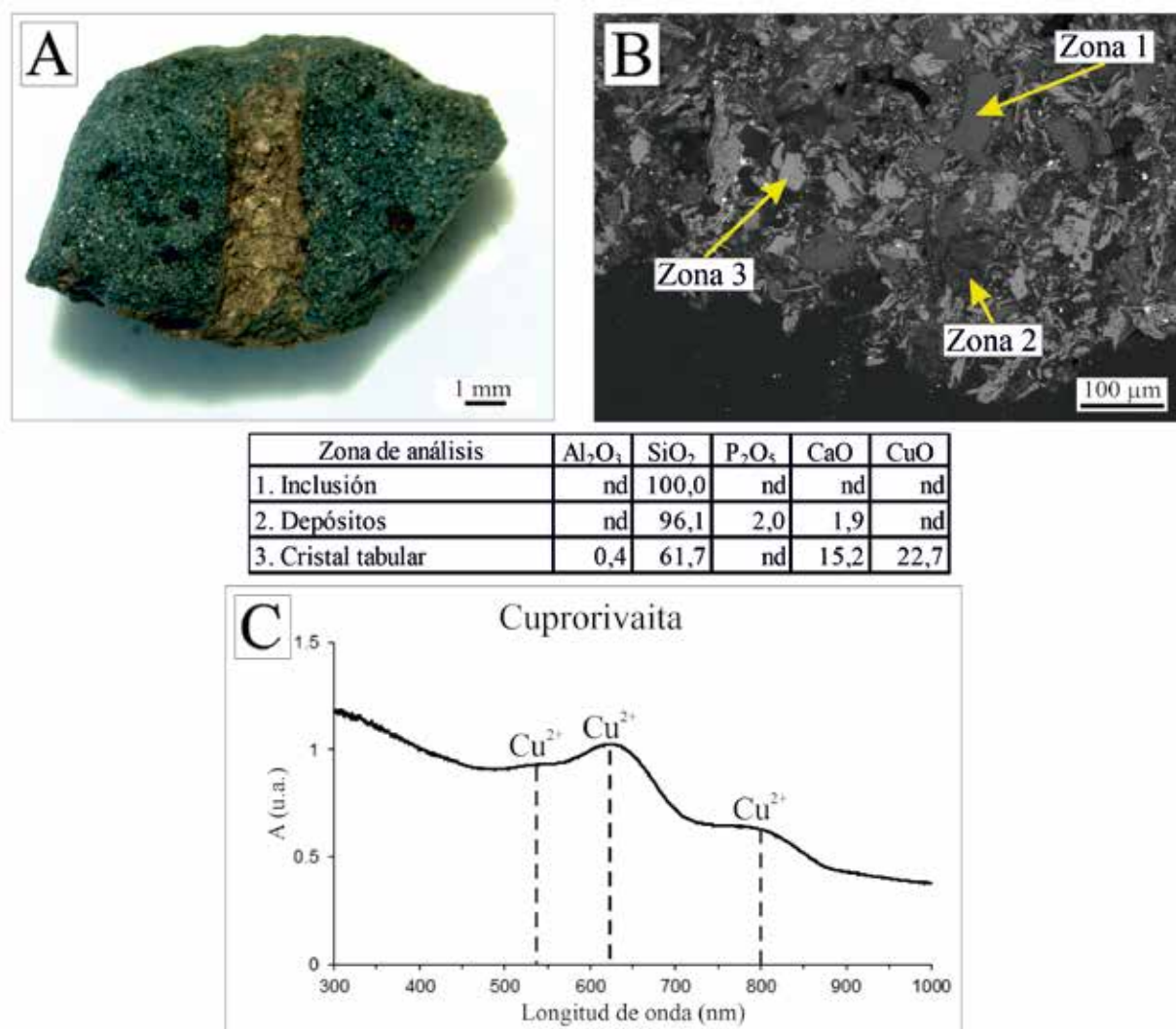


FIG. 12. Análisis de la cuenta UC-10: A) imagen de lupa binocular; B) imagen MEBEC (en modo BSE) de sección pulida y microanálisis EDS (% en peso) (nd = no detectado); C) espectro de absorción visible.

tanto, se confirma que el pigmento de azul egipcio es el responsable de la coloración azul de la muestra, que tiende a una ligera tonalidad azul-verdosa debido al avanzado estado de degradación del material y a la formación de cloruros de cobre en presencia de humedad (Schiegl *et al.*, 1989; Giménez, 2015).

Las características microestructurales y la composición química de los fragmentos de UC-10 apuntan a que pudo tratarse de una fayenza preparada con una frita de azul egipcio. Se ha descartado que la cuenta sea en sí misma una frita porque desde

un punto de vista tecnológico es un preparado previo que se utiliza como materia prima para obtener el producto vítreo final. La fayenza es un material que se constata en multitud de objetos –amuletos, escarabeos, pendientes, cuentas, etc.– de Egipto y Próximo Oriente desde finales del v milenio a. C., y cuya tecnología ya estaba extendida por toda Europa a finales de la Edad del Hierro (Tite y Shortland, 2008; Costa *et al.*, 2022). La fayenza está formada por un núcleo de cuarzo en polvo recubierto por un vidriado superficial que normalmente es de



color verde o azul (Matin y Matin, 2012). Para la obtención de este vidriado, una técnica empleada era la mezcla del preparado de cuarzo con una frita de azul egipcio ya molida, que contiene los componentes de cobre que constituyen el colorante. Posteriormente, la mezcla se somete a una temperatura próxima a 1000 °C para vitrificar el núcleo de cuarzo y conseguir el vidriado superficial. De este modo, los fragmentos de UC-10 pueden tratarse de los restos del núcleo de cuarzo de una fayenza, que ha perdido su capa de vidriado debido a su avanzado estado de degradación, mezclado con los componentes del vidriado obtenidos a partir de una frita de azul egipcio formada por los característicos cristales de cuprorivaíta y que también ha perdido su fase vítrea. Hay constancia de este procedimiento tecnológico en diversos estudios arqueométricos de cuentas de azul egipcio del II al I milenio a. C. procedentes de Egipto y Mesopotamia (Hatton *et al.*, 2008) y de la costa sirio-palestina (Matoñan y Bouquillon, 2000; Toffolo *et al.*, 2013). En la Península Ibérica se han hallado y analizado cuentas azules del I milenio a. C. preparadas con fritas de azul egipcio que posiblemente procedan del Mediterráneo oriental, aunque las evidencias son aún muy escasas (Costa *et al.*, 2022).

## 5. Conclusiones

El estudio arqueométrico de un conjunto representativo de cuentas de vidrio procedentes de las excavaciones de la necrópolis y el Torreón del oppidum vetón de Ulaca –Solosancho, Ávila– ha permitido determinar conclusiones significativas acerca de su estado de conservación, las características de sus materias primas, la tecnología de producción y su posible procedencia. Estas conclusiones se describen a continuación:

- Todas las muestras presentan signos evidentes de degradación en su superficie como consecuencia del ataque hidrolítico experimentado por el vidrio en un medio de enterramiento con elevada humedad. Estos signos de degradación se manifiestan, en fases más o menos avanzadas,

en forma de picaduras y cráteres frecuentemente interconectados y rellenos de productos de corrosión del vidrio y restos oscuros del sedimento en el que permanecieron enterradas. Tres de las 17 muestras presentan, además, burbujas en el cuerpo del vidrio, lo que indica un afinado deficiente durante el proceso de producción del vidrio.

- Tanto los vidrios base como los vidrios de las decoraciones de las 16 cuentas se realizaron con un vidrio de silicato sódico cálcico del sistema  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  que muestra en general una gran homogeneidad composicional. Todos los vidrios son de base natrón con bajo contenido en óxido de magnesio –MgO–, lo que permite asignarlos a una familia de vidrios bien conocida y documentada en la Edad del Hierro en el entorno mediterráneo denominada *low magnesium soda lime glasses* –LMG–. A pesar de esa homogeneidad composicional, los vidrios base de las cuentas de Ulaca se agrupan dependiendo de la cantidad de alúmina en tres grupos composicionales: el Grupo 1, formado por 11 cuentas de color verde, ámbar y azul, se caracteriza por unos contenidos de alúmina entre 1,5 y 2,5 % en peso; el Grupo 2, formado por 3 muestras de tonalidad verde-azulada residual y azul cobalto, se caracteriza por unos contenidos de alúmina entre 0,8 y 1,1 % en peso; el Grupo 3, compuesto por la cuenta amarilla UC-03, se caracteriza por un contenido de alúmina elevado de 3,6 % en peso y por la presencia de óxidos de plomo y de antimonio responsables de la coloración amarilla opaca.
- La coloración de las cuentas muestra una gran variedad de cromóforos y distintos procedimientos de obtención:
  - A) Cromóforos iónicos: las tonalidades verdes se deben a la adición cromática del color azul aportado por los iones  $\text{Cu}^{2+}$  y el color amarillo aportado por los iones  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^{4+}$  –dando lugar al verde intenso de UC-01– y los iones  $\text{Fe}^{3+}$  –dando lugar al verde claro de UC-13–. La tonalidad verde-azulada residual de las cuentas incoloras UC-02 y UC-06 se debe a la

adición cromática del color azul aportado por los iones  $\text{Fe}^{2+}$  y el color amarillo aportado por los iones  $\text{Fe}^{3+}$ . La tonalidad de azul cobalto en nueve de las 17 cuentas de Ulaca se debe a la presencia de pequeñas concentraciones de  $\text{Co}^{2+}$ , o bien a la combinación de los iones  $\text{Co}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  que aportan la coloración azul intensa característica. Por su parte, la tonalidad azul turquesa de la cuenta UC-11 se debe a la presencia de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y la tonalidad ámbar de la cuenta UC-17 se debe al denominado cromóforo ámbar constituido por iones  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{S}^{2-}$ . La tonalidad azul-verdosa de la muestra UC-10, probablemente una fayenza mezclada con un preparado de azul egipcio, se debe a la presencia de este pigmento ampliamente utilizado en Egipto y el Próximo Oriente desde el IV al III milenio a. C. Los colorantes del azul egipcio son compuestos de cobre que aportan iones  $\text{Cu}^{2+}$  responsables de impartir al vidrio el característico azul de la cuprorivaita. Como consecuencia del avanzado estado de alteración de la cuenta, el color azul se ha transformado en el azul-verdoso que ahora presenta.

- b) Cromóforos debidos a microcristales: la coloración amarilla opaca de la cuenta UC-03 y del óculo de la cuenta UC-04 se debe a la presencia de microcristales de antimonio de plomo. La coloración blanca opaca de las decoraciones de las cuentas UC-01, UC-12 y UC-16 se debe a la presencia de microcristales de antimonio de calcio. Estos microcristales son los responsables de impartir el color al vidrio y actúan como opacificante.
- La comparación de la composición química de las cuentas de Ulaca con la composición de otras cuentas de la Península Ibérica de contextos de la Edad del Hierro, del ámbito mediterráneo y de Centroeuropa ha permitido concluir que existe una notable similitud composicional con cuentas de entornos fenicios-púnicos del Mediterráneo occidental, entornos prerromanos del interior peninsular, entornos etruscos del N de Italia y otros de Europa oriental cuyos vidrios

proceden muy probablemente de talleres primarios del Mediterráneo oriental. Por tanto, se concluye que los vidrios de las cuentas de Ulaca no pueden considerarse de producción local, sino que pudieron ser importados de talleres vidrieros procedentes de las costas sirio-palestinas o de Egipto a través de procesos comerciales y/o de intercambio. La procedencia de los fragmentos de la cuenta UC-10, probablemente una fayenza mezclada con una frita de azul egipcio, apunta igualmente hacia el entorno de Egipto u otros lugares del Próximo Oriente donde se atestigua la producción de este pigmento.

## Bibliografía

- ACCORSI, G.; VERRI, G.; BOLOGNESI, M.; ARMAROLI, N.; CLEMENTI, C.; MILIANI, C. y ROMAN, A. (2009): “The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaita (Egyptian blue)”, *Chemical Communications*, 2, pp. 3392-3394. <https://doi.org/10.1039/b902563d>
- AGUA, F.; CONDE, J. F.; KOBLYŃSKA, U.; KOBLYŃSKI, Z.; GARCÍA-HERAS, M. y VILLEGAS, M. A. (2017): “Chemical-physical characterisation of Early Iron Age glass beads from Central Europe”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 56(3), pp. 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.03.001>
- ALLEN, B. (2019): “The History and Development of Identification: Rediscovery and Application of Egyptian Blue”, *Chemistry & Biochemistry Student Project*, 21. <https://pillars.taylor.edu/chemistry-student/21/>
- ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (1999): *Los Vettones*. Bibliotheca Archaeologica Hispana, 1. Madrid: RAH.
- ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (2003): *Los señores del ganado. Arqueología de los pueblos prerromanos en el occidente de Iberia*. Madrid: Akal.
- ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R.; MARÍN, C., FALQUINA, A. y RUIZ ZAPATERO, G. (2008): “El oppidum vetón de Ulaca (Solosancho, Ávila) y su necrópolis”. En ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (ed.): *Arqueología Vettona. La Meseta Occidental en la Edad del Hierro*. Zona Arqueológica, 12. Alcalá de Henares: MAR, pp. 338-361.
- ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J. y RUIZ ZAPATERO, G. (2021): “El askos de Ulaca (Solosancho, Ávila) y el simbolismo del toro entre los

- vettones”, *Trabajos de Prehistoria*, 78(2), pp. 356-365. <https://doi.org/10.3989/tp.2021.12281>
- ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R.; RUIZ ZAPATERO, G. y RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J. (2019): “Arqueología y comunidad en Ulaca (Solosancho, Ávila): la gestión de los oppida como paisajes culturales”. En FERNÁNDEZ, M.; MELGOSA, F. J.; GARCINUÑO, L.; MARTÍN, G. y DEL SER QUIJANO, G. (eds.): *Investigar el pasado para entender el presente. Homenaje al profesor Carmelo Luis López*. Ávila: Inst. Gran Duque de Alba, pp. 75-90.
- AMORÓS, L. (1974): “La cueva sepulcral prerromana de Son Maimó en el término municipal de Petra (Mallorca)”. En *Prehistoria y Arqueología de las Islas Baleares. VI Symposium de Prehistoria Peninsular*. Barcelona: Univ. de Barcelona-Instituto de Arqueología y Prehistoria-Caja de Ahorros y Monte de Piedad de las Baleares, pp. 137-170. <https://dialnet.unirioja.es/congreso/edicion/2898>
- ARLETTI, R.; FERRARI, D. y VEZZALINI, G. (2012): “Pre-Roman glass from Mozia (Sicily-Italy): the first archaeometrical data”, *Journal of Archaeological Science*, 39, pp. 3396-3401. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.06.009>
- ARLETTI, R.; MAIORANO, C.; FERRARI, D.; VEZZALINI, G. y QUARTIERI, S. (2010): “The first archaeometric data on polychrome Iron Age glass from sites located in northern Italy”, *Journal of Archaeological Science*, 37, pp. 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.11.001>
- BALLESTEROS, E. (1896): *Estudio Histórico de Avila y su territorio*. Ávila: Tipografía de Manuel Sarachaga.
- BAQUEDANO, I. (2016): *La necrópolis vettona de La Osera (Chamartín, Ávila, España)*. Zona Arqueológica, 19. Alcalá de Henares: MAR.
- BERROCAL, L. (1988): *Excavaciones en Capote. Beturia céltica*. Serie Nertobrigense, 1. Fregenal de la Sierra-Higuera la Real: Ayto. de Higuera la Real.
- CABRÉ, J. (1930): *Excavaciones en Las Cogotas. Cardenosa (Avila). I. El Castro*. Memorias de la Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades, 110. Madrid.
- CABRÉ, J. (1932): *Excavaciones en Las Cogotas. Cardenosa (Avila). II. La Necrópolis*. Madrid: Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades, 120.
- CABRÉ, J.; MOLINERO, A. y CABRÉ, M. E. (1932): “La necrópolis de la Osera”. En SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ANTROPOLOGÍA, ETNOGRAFÍA Y PREHISTORIA (ed.): *Actas y Memorias, t. XI-año 1932, cuaderno 1.º*. Madrid: Museo Antropológico Nacional, pp. 21-52.
- CARMELO PRIETO, A.; SOUTO, J. M.; AVELLA, M. y SANZ MÍNGUEZ, C. (2019): “Estudio arqueométrico de materiales vítreos de la Pintia vaccea”, *Vaccea Anuario*, 12, pp. 84-90. <https://pintiavaccea.es/atpdf/562.pdf>
- COLLIS, J. (2004): *Hill-Fort Study Group. Visit to Ávila, Spain. Guide*. Oxford: Hill-Fort Study Group.
- CONDE, J. F.; AGUA, F.; MALDONADO, S.; TORRES, J. de; PEREIRA, J.; VILLEGAS, M. A. y GARCÍA-HERAS, M. (2016): “Caracterización y estudio arqueométrico de un conjunto de vidrios de la Edad del Hierro de la necrópolis de Palomar de Pintado (Toledo, España)”, *DigitAR. Revista Digital de Arqueología, Arquitectura e Artes*, 3, pp. 83-92. [https://doi.org/10.14195/2182-844X\\_3\\_10](https://doi.org/10.14195/2182-844X_3_10)
- COSTA, M.; BARRULAS, P.; ARRUDA, A. M.; BARBOSA, R.; VANDENABEELE, P. y MIRÃO, J. (2022): “New approaches for the study of faience using beads from Southern Portugal”, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 46, 103703. <http://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103703>
- COSTA, M.; BARRULAS, P.; ARRUDA, A. M.; DIAS, L.; BARBOSA, R.; VANDENABEELE, P. y MIRÃO, J. (2021): “An insight into the provenance of the Phoenician-Punic glass beads of the necropolis of Vinhas das Calças (Beja, Portugal)”, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13, 149. <http://hdl.handle.net/10174/30138>
- FERNÁNDEZ GÓMEZ, F. (2011): *El poblado fortificado de ‘El Raso de Candelela’ (Ávila): el núcleo d. Un poblado de la III Edad del Hierro en la Meseta de Castilla*. Ávila: Inst. Gran Duque de Alba.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M. (2003): *El vidrio. Constitución, fabricación, propiedades*. Madrid: CSIC.
- GARCÍA GANDÍA, J. R. (2009): *La necrópolis orientalizante de Les Casetes (La Vila Joiosa, Alicante)*. Alicante: Univ. de Alicante.
- GARCÍA-HERAS, M.; AGUA, F.; MADIQUIDA, H.; FERNÁNDEZ, V. M.; VILLEGAS, M. A. y RUIZ-GÁLVEZ, M. (2023): “Archaeometric characterization of glass and a carnelian bead to study trade networks of two Swahili sites from the Ibo Island (Northern Mozambique)”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 62, pp. 452-467. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.09.001>
- GARCÍA-HERAS, M.; RINCÓN, J. M.; JIMENO, A. y VILLEGAS, M. A. (2003): “Estudio arqueométrico de cuentas de vidrio procedentes de la necrópolis de Numancia (siglo II a. C.)”, *Trabajos de Prehistoria*, 60(1), pp. 173-181. <http://hdl.handle.net/10261/8815>

- GARCÍA-HERAS, M.; RINCÓN, J. M.; JIMENO, A. y VILLEGAS, M. A. (2005): "Pre-Roman coloured glass beads from the Iberian Peninsula: a chemico-physical characterisation study", *Journal of Archaeological Science*, 32(5), pp. 727-738. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.12.007>
- GIAMMELARO, A. S. (2008): *I vetri della Sicilia punica*. Roma: Bonsignori.
- GIMÉNEZ, J. (2015): "Finding hidden chemistry in Ancient Egyptian artifacts: pigment degradation taught in a chemical engineering course", *Journal of Chemical Education*, 92(3), pp. 456-462. <https://doi.org/10.1021/ed500327j>
- GOMES, F. B. (2020): "O conjunto vítreo da necrópole da 1 Idade do Ferro da Fonte Velha de Bensafim (Lagos)", *Ophiussa*, 4, pp. 71-116. <https://doi.org/10.51679/ophiussa.2020.65>
- GOMES, F. B. (2021): "Early Iron Age 'black' glass in Southwestern Iberia: typology, distribution, and context", *Zephyrus*, LXXXVII, pp. 125-144. <https://doi.org/10.14201/zephyrus202187125144>
- GÓMEZ-MORENO, M. (1983; ed. rev.): *Catálogo Monumental de España. Provincia de Ávila*. Ávila: Ministerio de Cultura-Inst. Gran Duque de Alba.
- GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, P. y LÓPEZ JIMÉNEZ, O. (2021): "Las cuentas oculadas de la Edad del Hierro en el sector suroccidental de la Meseta Norte (España)", *Boletín del Seminario de Arte y Arqueología*, LXXXVII, pp. 61-104. <https://doi.org/10.24197/ba.LXXXVII.0.61-104>
- GUTIÉRREZ PALACIOS, A. (1955): "Resumen de la campaña de excavaciones de 1950 en Ulaca (Solosancho)", *Noticiario Arqueológico Hispánico*, II, pp. 195-196.
- HATTON, G. D.; SHORTLAND, A. J. y TITE, M. S. (2008): "The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia", *Journal of Archaeological Science*, 35, pp. 1591-1604. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.11.008>
- HENDERSON, J. (1985): "The raw materials of early glass production", *Oxford Journal of Archaeology*, 4(3), pp. 267-291. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.1985.tb00248.x>
- HENDERSON, J. (2002): "Tradition and experiment in first millennium AD glass production", *Accounts of Chemical Research*, 35(8), pp. 594-602. <https://doi.org/10.1021/ar000202o>
- JIMÉNEZ ÁVILA, J. (1999): "Los objetos de vidrio precedentes del yacimiento de Pajares: estudio preliminar". En CELESTINO PÉREZ, S. (ed.): *El yacimiento protohistórico de Pajares, Villanueva de la Vera, Cáceres. 1. Las necrópolis y el tesoro áureo*. Memorias de Arqueología Extremeña, 3. Mérida: Junta de Extremadura, pp. 139-152.
- JIMÉNEZ ÁVILA, J. (2001): "La necrópolis de 'El Jardal' (Herrera del Duque, Badajoz): elementos para el estudio del ritual funerario del suroeste de la 1.ª Edad del Hierro", *Complutum*, 12, pp. 113-122. <https://revistas.ucm.es/index.php/CMPL/article/view/CMPL0101110113A>
- LANTIER, R. y BREUIL, H. (1930): "Villages Pré-romains de la Péninsule Ibérique", *Revue Archéologique*, XXXII, pp. 209-216.
- LONČARIĆ, V. y COSTA, M. (2023): "Known glass compositions in Iron Age Europe—Current synthesis and emerging questions", *Heritage*, 6(5), pp. 3835-3863. <https://doi.org/10.3390/heritage6050204>
- LORRIO, A. J. (1997): *Los Celtiberos*. Complutum Extra, 7. Alicante: Univ. de Alicante-Univ. Complutense de Madrid.
- LYUBOMIROVA, V.; ŠMIT, Z.; FAJFAR, H. y KULEFF, I. (2014): "Chemical composition of glass beads from the necropolis of Apollonia Pontica (5th-3rd Century BC)", *Archaeologia Bulgarica*, 18(2), pp. 1-17.
- MALUQUER, J. (1974): *La necrópolis de la Loma del Peinado, Casillas de Marios (Jaén)*. Programa de Investigaciones Protohistóricas, 6. Barcelona: Univ. de Barcelona.
- MARINÉ, M. (1998): "El castro de Ulaca (Solosancho, Ávila): cien años de gestión del patrimonio arqueológico". En *Homenaje al profesor C. Posac Mon*. Ceuta: Inst. de Estudios Ceutíes, t. III, pp. 381-395.
- MATÉ-GONZÁLEZ, M. Á.; SÁEZ BLÁZQUEZ, C.; CARRASCO GARCÍA, P.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J.; FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, J.; VALLÉS IRISO, J.; TORRES, Y.; TROITIÑO TORRALBA, L.; COURTENAY, L. A.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; LÓPEZ-CUERVO, S.; AGUIRRE DE MATA, J.; VELASCO GÓMEZ, J.; PIRAS, M.; FILIPPO, A. Di; YRAVEDRA, J.; FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M.; CHAPA, T.; RUIZ ZAPATERO, G. y ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (2021): "Towards a combined use of geophysics and remote sensing techniques for the characterization of a singular building: 'El Torreón' (the Tower) at Ulaca oppidum (Solosancho, Ávila, Spain)", *Sensors*, 21(9), 2934. <https://doi.org/10.3390/s21092934>
- MATIN, M. y MATIN, M. (2012): "Egyptian faience glazing by the cementation method part 1: an investigation of the glazing powder composition and glazing

- mechanism”, *Journal of Archaeological Science*, 39, pp. 763-776. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.11.013>
- MATOÏAN, V. y BOUQUILLON, A. (2000): “Le ‘bleu égyptien’ à Ras Shamra-Ougarit (Syrie)”. En MATTHIAE, P.; ENEA, A.; PEYRONEL, L. y PINNOCK, F. (eds.): *Proceedings of the First International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, Rome, May 18th-23rd 1998*. Roma: Univ. ‘La Sapienza’, pp. 983-1004. <https://shs.hal.science/halshs-00090940>
- NICOLÁS, J. C. de (2014): “Amuletos, colgantes y cuentas de pasta vítrea de collares púnicos en Menorca”, *Treballs del Museu Arqueològic d’Eivissa i Formentera*, 72, pp. 205-219.
- PALOMAR, T.; PEÑA-POZA, J. y CONDE J. F. (2009): “Cuentas de vidrio prerromanas y arqueometría: una valoración de los trabajos realizados en la península Ibérica”, *Zephyrus*, LXIV, pp. 53-62. <https://revistas.usal.es/uno/index.php/0514-7336/article/view/7208>
- PINTO, J.; PRIETO, A. C.; CORIA-NOGUERA, J. C.; SANZ-MINGUEZ, C. y SOUTO, J. (2020): “Investigating glass beads and the funerary rituals of ancient Vaccae culture (s. IV-I BC) by Raman spectroscopy”, *Journal of Raman Spectroscopy*, 2020, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1002/jrs.6049>
- POSAC MON, C. (1953): “Solosancho (Ávila)”, *Noticario Arqueológico Hispánico*, I, pp. 63-74.
- RINCÓN, J. M. (1993): “Microstructure and microanalysis (SEM/EDX) determination of glasses from Mallorca and Menorca caves”, *Trabajos de Prehistoria*, 50, pp. 263-266. <https://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/502/519>
- RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J. (2019): *Poder y sociedad: el oeste de la Meseta en la Edad del Hierro*. Ávila: Inst. Gran Duque de Alba.
- RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J.; ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R.; APARICIO-RESCO, P.; MATÉ-GONZÁLEZ, M. Á. y RUIZ-ZAPATERO, G. (2021): “Reconstrucción virtual en 3D del ‘Torreón’ del oppidum de Ulaca (Solosancho, Ávila): mucho más que una imagen”, *Arqueología de la Arquitectura*, 18, e123. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.015>
- RUANO, E. (1995a): “Cuentas policromas prerromanas decoradas con ‘ojos’”, *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II*, 8, pp. 255-286. <https://doi.org/10.5944/etfii.8.1995.4264>
- RUANO, E. (1995b): “El collar con cuentas y colgantes procedente de la Tumba n.º 33 de La Albufereta (Alicante)”, *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 35, pp. 189-197.
- RUANO, E. (1996): *Las cuentas de vidrio prerromanas del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera*. Trabajos del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera, 36. Ibiza: Govern Balear.
- RUANO, E. (2000): *Las cuentas de vidrio halladas en España desde la Edad del Bronce hasta el Mundo Romano*. Madrid: Stock Cero.
- RUANO, E.; HOFFMAN, P. y RINCÓN, J. M. (1995): “Aproximación al estudio del vidrio prerromano: los materiales procedentes de la necrópolis ibérica de El Cigarralejo (Mula, Murcia). Composición química de varias cuentas de collar”, *Trabajos de Prehistoria*, 52(1), pp. 189-206. <https://doi.org/10.3989/tp.1995.v52.i1.440>
- RUANO, E.; HOFFMAN, P. y RINCÓN, J. M. (1997): “Primeros resultados de los análisis químicos comparativos entre materiales de vidrio prerromanos procedentes de diferentes áreas españolas”, *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 37, pp. 121-137.
- RUIZ ZAPATERO, G. (2005): *Castro de Ulaca. Solosancho, Ávila*. Cuadernos de Patrimonio Abulense, 3. Ávila: Inst. Gran Duque de Alba.
- RUIZ ZAPATERO, G. y ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (1995): “Las Cogotas: *Oppida* and the Roots of Urbanism in the Spanish Meseta”. En CUNLIFFE, B. y KEAY, S. (eds.): *Social Complexity and the Development of Towns in Iberia: from the Copper Age to the second century AD*. London: British Academy, pp. 209-236.
- RUIZ ZAPATERO, G. y ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. (1999): “Ulaca, la ‘Pompeya’ vettona”, *Revista de Arqueología*, 216, pp. 36-47.
- RUIZ ZAPATERO, G.; ÁLVAREZ-SANCHÍS, J. R. y RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J. (2020): “Urbanism in Iron Age Iberia: Two Worlds in Contact”, *Journal of Urban Archaeology*, 1, pp. 123-150. <https://doi.org/10.1484/J.JUA.5.120913>
- SANZ MÍNGUEZ, C. (1997): *Los vacceos: cultura y ritos funerarios de un pueblo prerromano del valle medio del Duero. La necrópolis de Las Ruedas, Padilla de Duero (Valladolid)*. Arqueología en Castilla y León, Memorias 6. Salamanca: Junta de Castilla y León.
- SCHIEGL, S.; WEINER, K. L. y EL GORESY, A. (1989): “Discovery of copper chloride cancer in Ancient



- Egyptian polychromic wall paintings and faience: a developing archaeological disaster”, *Naturwissenschaften*, 76, pp. 393-400.
- SHORTLAND, A.; SCHACHNER, L.; FREESTONE, I. C. y TITE, M. (2006): “Natron as a flux in the early vitreous materials industry: sources, beginnings and reasons for decline”, *Journal of Archaeological Science*, 33, pp. 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.011>
- SHORTLAND, A. J. y SCHROEDER, H. (2009): “Analysis of first millennium BC glass vessels and beads from Pichvnari necropolis, Georgia”, *Archaeometry*, 51(6), pp. 947-965. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00443.x>
- STRYDONCK, M. V.; GRATUZE, B.; ROLLAND, J. y DE MULDERD, G. (2018): “An archaeometric study of some pre-Roman glass beads from Son Mas (Mallorca, Spain)”, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, pp. 491-499. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.12.003>
- TITE, M. S. y SHORTLAND, A. J. (2008): *Production Technology of Faience and Related Early Vitreous Materials*. Oxford: Oxford University School of Archaeology.
- TOFFOLO, M. B.; KLEIN, E.; ELBAUM, R.; AJA, A. J.; MASTER, D. M. y BOARETTO, E. (2013): “An early Iron Age assemblage of faience beads from Ashkelon, Israel: chemical composition and manufacturing process”, *Journal of Archaeological Science*, 40, pp. 3626-3635. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.05.010>
- TORRES MARTÍNEZ, J. F.; MARTÍNEZ VELASCO, A. y DE LUIS MARIÑO, S. (2013): “Cuentas de pasta vítrea del oppidum de Monte Bernorio (Villarén, Palencia). Relaciones comerciales en el cantábrico en la Edad del Hierro”, *Sautuola*, XVIII, pp. 133-148.
- VENCLOVÁ, N. (1983): “Prehistoric eye beads in Central Europe”, *Journal of Glass Studies*, 25, pp. 11-17.