

CUENTAS DE VIDRIO PRERROMANAS Y ARQUEOMETRÍA: UNA VALORACIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Pre-Roman glass beads and Archaeometry. An assessment of the works carried out in the Iberian Peninsula

T. PALOMAR*, J. PEÑA-POZA* y J. F. CONDE**

* *GI Arqueometría de vidrios y materiales cerámicos. Instituto de Historia. Centro de Ciencias Humanas y Sociales, (CSIC). c/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. Correo-e: teresa.palomar@cchs.csic.es*

** *Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CSIC). c/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid*

Recepción: 2009-09-15; Revisión: 2009-09-28; Aceptación: 2009-10-20

BIBLID [0514-7336 (2009) LXIV, julio-diciembre; 53-62]

RESUMEN: Las cuentas de collar son unas de las piezas de vidrio más antiguas documentadas en la Península Ibérica. Estas piezas aparecen de manera puntual en determinados enterramientos del noreste peninsular fechados en el II milenio a.C. Se generalizaron a comienzos del I milenio y su periodo de máximo esplendor fue en ambientes púnicos e ibéricos entre los siglos IV y III a.C. Sobre todo, las cuentas de collar aparecen en contextos funerarios del este y sur peninsular, aunque también se han documentado, en menor número, en yacimientos del interior.

El objeto de este trabajo es la revisión de los análisis químicos que se han realizado sobre estas cuentas de vidrio, con el propósito de valorar la calidad experimental de los distintos datos publicados y su utilidad en la determinación de patrones tecnológicos y áreas geográficas de procedencia.

Palabras clave: Vidrio prerromano. Cuentas. Península Ibérica. Arqueometría.

ABSTRACT: Necklace beads are some of the most ancient glass pieces documented in the Iberian Peninsula. These pieces have been scarcely found in burial sites from Northeastern areas of the Iberian Peninsula and date from the second millennium BC. The use was spread at the beginning of the first millennium and the maximum splendor was in Punic and Iberian contexts between the fourth and third centuries BC. Above all, necklace beads appear in burial context in East and South areas of the Iberian Peninsula, even though they have been also documented, in lesser amount, in inside areas.

The objective of this work is the review of the chemical analyses carried out on these glass beads, with the aim to assess the experimental quality of published data and their utility to determine technological patterns and geographical areas of provenance.

Keywords: Pre-Roman glass. Beads. Iberian Peninsula. Archaeometry.

1. Introducción

El estudio de las cuentas de vidrio prerromanas desde una perspectiva crono-tipológica y contextual

permite el establecimiento de posibles contactos comerciales entre distintas comunidades, determinar el gusto ornamental de quienes las usaron, así como especular sobre su probable carácter profiláctico,

mágico-apotropaico o como símbolo de estatus social. No obstante, esta perspectiva resulta insuficiente en la aproximación a cuestiones tales como la determinación de patrones tecnológicos, tipos de manufactura o identificación de áreas de producción. Estas cuestiones sólo son accesibles a través de una perspectiva arqueométrica, en la que mediante la aplicación de técnicas químico-físicas habituales en Ciencia de Materiales, se emprende la caracterización y análisis estructural de este tipo de materiales.

Con la aplicación de estas técnicas es posible estudiar la composición, el grado de deterioro y los fenómenos químico-físicos experimentados por las piezas de vidrio durante su enterramiento. En este sentido, por ejemplo, el estudio de la composición química de las cuentas puede aportar datos muy valiosos sobre el tipo de vidrio producido y sobre la posible procedencia geográfica de las materias primas utilizadas en su manufactura. Las técnicas más utilizadas para determinar la composición química de las cuentas han sido la espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) y la microscopía electrónica de barrido, la cual suele estar equipada con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (MEB-EDX), que permite realizar microanálisis químicos sobre determinadas áreas de la pieza de vidrio.

Con el propósito de valorar la calidad experimental de los distintos datos publicados y su utilidad en la posible determinación de patrones tecnológicos o áreas geográficas de procedencia, aspectos éstos que sólo pueden abordarse a través de una aproximación arqueométrica, se ha llevado a cabo una recopilación de todos los análisis químicos realizados hasta el momento en cuentas de vidrio prerromanas halladas en la Península Ibérica. Los resultados de esta recopilación, que se efectuó mediante una búsqueda bibliográfica completa de todos los trabajos que presentaron resultados analíticos obtenidos en este tipo de materiales, se presentan en este trabajo. Las cuentas de vidrio analizadas se encuadran en un marco cronológico que abarca el periodo comprendido entre los siglos VIII al II a.C. Hay que tener en cuenta que también se han documentado cuentas de vidrio más antiguas en contextos del Bronce Final en zonas del noreste (Rovira i Port, 1994), pero no se han tenido en cuenta en este trabajo porque en la publicación correspondiente no se presentaron datos arqueométricos.

2. Las cuentas de vidrio. Breve historiografía

En la mayoría de las memorias y estudios publicados, las cuentas de vidrio se mencionan como objetos de pasta vítrea debido a la poca calidad de su fusión o a su avanzado estado de degradación. Por ello, a menudo se han considerado como elementos secundarios y con escaso valor arqueológico por su reducido tamaño, por aparecer sin su soporte primitivo o porque ciertas tipologías no permiten establecer una clara cronología, como las cuentas anulares lisas, que suelen fecharse desde el siglo VI hasta el siglo II a.C. Estos aspectos hacen que las cuentas de vidrio se hayan publicado en las memorias de excavación en referencia a ajuares de enterramientos, depósitos votivos en santuarios o, incluso, fuera de contexto con un valor meramente testimonial (Ruano, 1996).

El estudio monográfico de las cuentas de vidrio prerromanas en la Península Ibérica se inició con los trabajos de la Dra. Encarnación Ruano. Debido a que existía una importante cantidad de cuentas depositadas en distintos museos, procedentes de excavaciones antiguas o de colecciones particulares descontextualizadas, se hacía necesario un estudio sistemático con el que pudiera obtenerse información sobre las comunidades que las fabricaron, usaron y depositaron en enterramientos y ofrendas votivas.

Uno de los primeros trabajos se realizó con las cuentas *oculadas* de la necrópolis ibérica de El Cigarralejo (Mula, Murcia). En este estudio se incidió no sólo en su particular decoración, realizada a partir de gotas de vidrio de distinto color empujadas en la matriz todavía blanda de la cuenta para formar cuerpo con la misma, sino también en su larga perduración cronológica. Además, también se discutían aspectos relacionados con la tecnología empleada en su manufactura (Ruano, 1995).

Un estudio posterior más amplio de las cuentas se centró en establecer una tipología a partir de datos como la forma, el color y la decoración. Se estudiaron un total de 1578 cuentas que se hallaban depositadas en los fondos del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera. Este estudio dio como resultado el establecimiento de 24 tipologías diferentes. A partir de la forma se distinguieron cuentas *anulares, esféricas, cilíndricas, agallonadas, fusiformes, bicónicas, elipsoidales, espiraliformes, acorazonadas* y de

tonelete. A partir del color, se distinguieron cuentas monóchromas y policromas. Y por último, partiendo de su decoración, se clasificaron en lisas, rayadas, oculadas, con protuberancias, en espiral y fitomorfas (Fig. 1) (Ruano, 1996).

Tras establecer estas tipologías, la Dra. Ruano comenzó a realizar distintos análisis químicos en cuentas ya publicadas (Ruano, 1996), contando con la colaboración de los Dres. Rincón (Instituto Eduardo Torroja, CSIC, Madrid) y Hoffmann (Universidad Técnica de Darmstadt, Alemania). En el trabajo mencionado se indicaba que había diferencias en la composición de algunas de las cuentas, pero en ningún caso se explicaba a qué podían ser debidas estas diferencias.

Siguiendo esta perspectiva, en otro trabajo de esta misma autora, se compararon los datos químicos obtenidos en los análisis de un mismo tipo de cuenta

de vidrio aparecida, tanto en el yacimiento insular de Puig des Molins (Ibiza), como en otros yacimientos peninsulares como la necrópolis de El Cigarralejo (Mula, Murcia) o El Jardal (Herrera del Duque, Badajoz). El propósito de esta comparación era determinar si podía establecerse un origen geográfico común o, por el contrario, procedían de talleres de producción distintos (Ruano *et al.*, 1997).

Finalmente, los análisis más recientes se han efectuado en las cuentas de vidrio aparecidas en un reducido número de tumbas de la necrópolis de Numancia. Estas cuentas eran de tipología anular y colores variados y se fecharon en el siglo II a.C. La realización de un estudio arqueométrico completo hizo posible determinar su composición química y apuntar una posible procedencia geográfica, así como evaluar su grado de deterioro (García-Heras *et al.*, 2005).

ANULARES		ESFERICAS						CILINDRICAS					
MONOCROMA	POLICROMA	MONOCROMA	POLICROMA				MONOCROMA		POLICROMA				
	OCULADAS		OCULADAS	CON OJOS PROTUB.	CON RAYAS EN DIAMETRO	CON RAYAS EN SUPERF.	CONICA	CON PROTUB.	CON OJOS PROTUB.	CON UNA ESPIRAL	CON DECOR. FITOMORFA	DECORADA EN LOS EXTREMOS	

AGALLONADAS		FUSIFORMES	BICONICAS	ELIPSOIDALES			ESPIRALIFORMES		ACORAZONADAS	TONELETE
MONOCROMA	POLICROMA	POLICROMA	MONOCROMA	MONOCROMA			MONOCROMA		MONOCROMA	POLICROMA
	CON RAYAS	CON RAYAS		CARA PLANA CARA CONCAV.	DOS CARAS CONCAVAS	SUPERFICIE AGALLONADA	DOS CARAS IGUALES	DOS CARAS DIFERENTES		

FIG. 1. Tipología de las cuentas de vidrio del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera (Ruano, 1996).

3. Localización geográfica

Las cuentas de collar en las que se dispone, por el momento, de análisis químicos pertenecen a yacimientos arqueológicos que se corresponden, tanto en la distribución espacial como en la cronológica, con la variedad de identidades culturales que habitaron la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. (Fig. 2). Siguiendo un orden temporal, desde las más antiguas hasta las más modernas, la distribución es la siguiente:

Castillo de Doña Blanca y la necrópolis de las Cumbres, en el Puerto de Santa María, Cádiz. Ciudad y necrópolis fenicio-púnicas, próximas a *Gadir*, cuyas cuentas allí localizadas y que se han analizado están fechadas en los siglos VIII, VII y III a. C.

Puig des Molins, Ibiza. Necrópolis situada en un montículo en las cercanías de la actual ciudad de Ibiza, de fundación fenicia, y constituida por más de 4000 tumbas de tipo hipogeo. El periodo durante el que estuvo en uso se sitúa entre los siglos VI y II a.C.

El Jardal, Herrera del Duque, Badajoz. Se trata de una necrópolis orientalizante cuya tipología de

tumbas y ajuares recuerda mucho a la de Medellín y, sobre todo, a las del sur de Portugal. La fecha del enterramiento en el que apareció el collar de cuentas analizadas es del siglo V a.C.

El Cigarralejo, Mula, Murcia. Se trata de una de las necrópolis ibéricas más estudiadas y en cuyas excavaciones se han documentado una gran variedad tipológica de enterramientos. Estos van desde el simple hoyo con deposición de cenizas, hasta los túmulos presididos por un pilar-estela con escultura zoomorfa. Estuvo en uso desde el siglo V hasta la romanización. Las cuentas de collar en las que se dispone de análisis químicos se han fechado en el primer periodo (siglo V a.C.).

Cova Massana y Cales Coves, en Mallorca y Menorca, respectivamente. Se trata de dos necrópolis cuyos enterramientos son de tipo hipogeo. Los ajuares en los que se documentaron cuentas de vidrio se han fechado en el periodo postalayótico, siglo IV a.C. para el caso de Cova Massana y siglo III a.C. para el caso de Cales Coves.

Numancia, Garray, Soria. Necrópolis descubierta en 1993 en la falda NE del cerro donde se asienta la ciudad celtibérica y cuyos enterramientos en los que aparecieron cuentas de collar en vidrio se han fechado en el siglo II a.C.



FIG. 2. Mapa de España en el que se representa la distribución espacial de los yacimientos de cuentas de vidrio prerromanas. Las distintas técnicas de análisis se identifican en función de la traza empleada: Círculo = EDX. Cuadrado = FRX (Ruano, 1996).

4. Técnicas analíticas utilizadas

Las principales técnicas químico-físicas que se han utilizado, según los artículos consultados, para la realización de los análisis a las cuentas de vidrio son la fluorescencia de rayos X (FRX) y la espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX).

La FRX permite determinar la composición de la zona analizada. Se pueden realizar análisis no destructivos de la superficie de la pieza pero su composición va a estar determinada por múltiples factores como la decoración, los depósitos superficiales e, incluso, los posibles tratamientos de limpieza

o restauración de la pieza. Por el contrario, el análisis de la matriz interna, donde los procesos de degradación aún no se han producido, es más exacto y reproducible. Además aporta una mayor información sobre los patrones de producción de la pieza.

La espectroscopía de dispersión de energía de rayos X es una técnica asociada a un microscopio electrónico de barrido (MEB-EDX). Esta técnica ofrece la posibilidad de observar la morfología y microestructura de los efectos del deterioro junto con la realización de análisis semicuantitativos.

5. Estudio composicional

En este apartado, se han considerado los análisis más destacados de cada uno de los trabajos consultados. Únicamente se han recogido los resultados más relevantes de estos análisis junto con las interpretaciones originales de los autores. En el caso de

no presentarse la explicación de los datos analíticos, se ha ofrecido una interpretación alternativa a partir de la escasa información recogida en el artículo.

5.1. Las Cumbres (Cádiz)

Las cuentas de vidrio más antiguas analizadas químicamente son las que han aparecido en la necrópolis púnica de Las Cumbres, fechadas en el s. VIII a.C. (Ruano, 2001b).

La cuenta anular policroma oculada, de la que sólo se ha conservado el color azul (Fig. 3A), según el análisis superficial, presentó un alto contenido en óxido de sodio (tabla I, LC-1) que indica que en la superficie no se ha producido una grave desalcalinización y que se encuentra en buen estado de conservación. Además, existe un alto porcentaje de óxido de cobalto que actúa como el cromóforo del vidrio. Es decir, es el responsable de la coloración

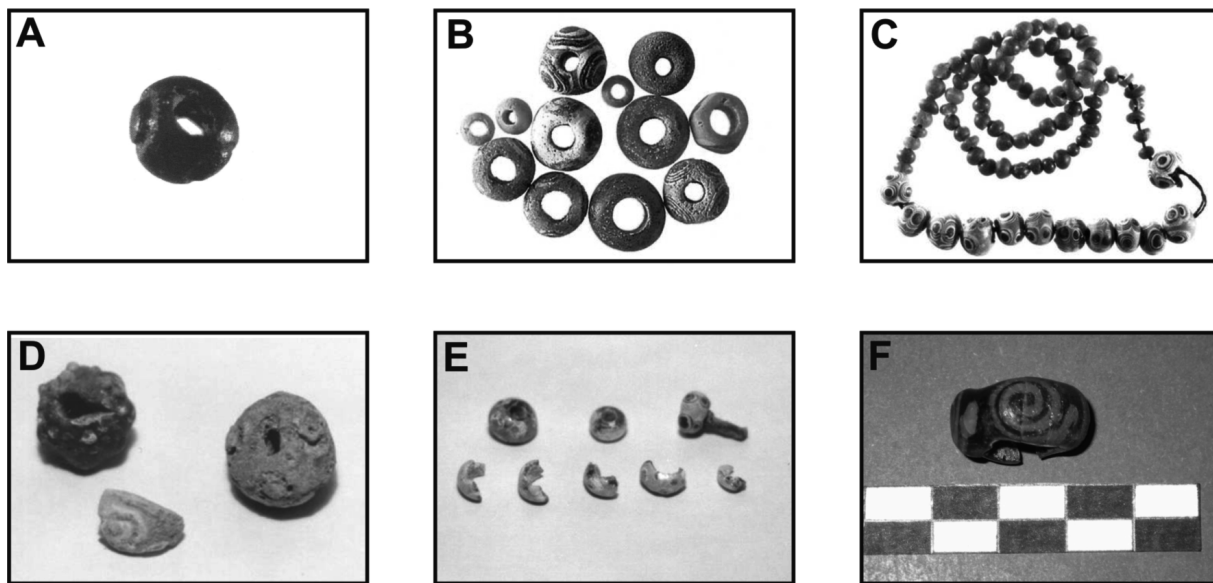


FIG. 3. A) Cuenta esférica policroma decorada con ojos, de la que sólo se ha conservado el color azul, del yacimiento Las Cumbres en Cádiz (Ruano, 2001b), B) Diversas cuentas de vidrio encontradas en can Pere Català des Port, en Sant Vicent de sa Cala (Ibiza) (Ruano, 1996), C) Conjunto de cuentas de collar procedentes de la tumba 1 del yacimiento "El Jardal" en Badajoz (Jiménez Ávila, 2001), D) Cuentas de vidrio del yacimiento de Cova Massana en Mallorca (Rincón, 1993), E) Antiguas cuentas de vidrio procedentes del yacimiento de Cales Coves en Menorca (Rincón, 1993), F) Detalle de la cuenta azul oscuro decorada de la tumba 93 de la necrópolis de Numancia (García-Heras et al., 2005).

del vidrio dando un color azul muy intenso a la matriz vítrea. Para la confirmación del cromóforo sería necesario realizar un estudio mediante una técnica óptica como la espectrofotometría ultravioleta-visible porque el color es una propiedad óptica.

5.2. Castillo de Doña Blanca (Cádiz)

En el yacimiento se encontraron 33 cuentas de vidrio. Únicamente se ha publicado el estudio de las tres zonas de coloración de una cuenta anular policroma oculada (Ruano, 2001a).

El análisis de la zona azul claro (tabla I, CDB-1), que corresponde al vidrio de fondo, presentó un alto contenido de óxido de cobre ($\text{CuO} = 1,13\%$ en peso) que actúa como el cromóforo de la pieza.

La zona azul oscura que pertenece previsiblemente al interior del óculo presentó, por el contrario, un alto contenido de óxido de cobalto ($\text{CoO} = 0,22\%$ en peso) (tabla I, CDB-2). Este óxido, como se

ha mencionado anteriormente, da un color azul muy intenso a la matriz vítrea.

Por último, el análisis de la zona blanca mostró un porcentaje relativamente alto de óxido de cobalto ($\text{CoO} = 0,12\%$ en peso) (tabla I, CDB-3). El vidrio analizado debería tener un color azul intenso. Además, no se han detectado altas concentraciones de óxido de plomo o de titanio, óxidos que proporcionan un aspecto opaco al vidrio. El análisis químico de la zona blanca, por tanto, no se corresponde con el análisis de un vidrio blanco; por el contrario, los datos se asemejan con el análisis del vidrio azul oscuro de fondo. Esta contradicción puede ser debida a un error instrumental, como que el diámetro de apertura del haz de rayos X incidente fuera superior al área de la zona blanca estudiada y se analizase conjuntamente con el vidrio azul de fondo, o también, que el espesor del vidrio blanco fuera lo suficientemente delgado como para ser atravesado por los rayos X analizando, por tanto, el vidrio azul de la capa inferior.

ANÁLISIS	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	Sb ₂ O ₃	PbO	P ₂ O ₅	Cl ⁻	SO ₂	ZnO
LC-1 (FRX)	12,4	4,45	6,78	69,0	0,51	2,88	0,067	0,72	1,19	0,29	ND	0,0029	0,0005	ND	0,78	0,40	0,37
CDB-1 (FRX)	2,39	0,54	6,37	73,8	1,53	9,6	0,11	0,024	1,36	0,05	1,13	1,04	0,17	ND	0,73	0,77	0,11
CDB-2 (FRX)	1,54	0,51	4,79	72,1	1,39	11,4	0,18	0,032	2,85	0,22	0,8	2,26	0,16	ND	0,6	0,61	0,12
CDB-3 (FRX)	1,97	0,49	7,91	77,6	1,24	6,6	0,08	0,010	1,51	0,12	0,28	0,78	0,09	ND	0,46	0,57	0,08
PDM-1 (FRX)	5,9	0,9	4,1	59,1	1,80	16,6	0,16	0,022	3,5	0,20	0,26	1,7	0,10	2,6	0,94	1,6	0,28
PDM-2 (FRX)	1,7	0,69	4,3	40,7	1,3	17,3	0,26	0,035	3,2	0,16	2,3	9,3	1,1	7,4	1,3	4,7	3,1
PDM-3 (FRX)	4,3	0,73	3,1	46,4	0,69	14,5	0,34	0,045	8,4	ND	0,080	9,6	4,3	3,5	1,5	1,5	0,39
EJ-1 (FRX)	12,4	0,77	3,0	60,6	1,3	8,2	0,088	0,017	0,82	0,099	0,52	9,4	0,064	0,60	0,51	0,33	ND
EC-1 (FRX)	ND	0,97	8,5	43,0	0,33	11,2	0,092	0,065	5,1	ND	0,60	0,95	0,18	16,0	0,44	0,012	9,3
MASS-1 (EDX)	ND	ND	6,16	76,13	0,36	10,03	ND	ND	7,31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MASS-2 (EDX)	11,75	1,65	0,89	41,71	0,81	2,86	ND	ND	ND	ND	ND	ND	39,83	ND	ND	ND	0,18
CC-1 (EDX)	14,40	ND	3,59	56,43	2,53	5,60	1,98	ND	5,55	ND	ND	ND	7,48	ND	ND	ND	2,43
CC-2 (EDX)	0,09	0,60	7,81	73,86	1,47	8,58	0,37	ND	6,48	ND	0,22	ND	ND	ND	ND	0,53	ND
N-1 (FRX)	15,86	0,34	5,00	71,16	1,50	4,21	ND	ND	0,72	ND	ND	ND	ND	ND	1,15	0,109	ND
N-2 (FRX)	16,63	0,39	2,22	67,25	0,66	8,91	ND	ND	1,96	0,13	0,15	ND	ND	ND	1,39	0,23	ND
N-3 (EDX)	15,4	3,1	12,9	64,6	0,6	2,6	ND	ND	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	0,3	ND	ND
N-4 (EDX)	9,7	1,3	10,3	65,2	1,9	6,3	0,1	ND	3,3	ND	1,0	ND	ND	ND	0,5	0,4	ND
N-5 (EDX)	9,4	1,4	11,0	65,1	1,8	4,9	ND	ND	4,4	ND	1,3	ND	ND	ND	0,6	0,1	ND
N-6 (EDX)	7,5	0,4	9,3	60,0	1,9	5,8	ND	ND	4,9	ND	1,6	ND	8,1	ND	0,5	ND	ND

Abreviaturas: "LC" = Las Cumbres, "CDB" = Castillo de Doña Blanca, "PDM" = Puig des Molins, "EJ" = El Jardal, "EC" = El Cigarralejo, "MASS" = Cova Massana, "CC" = Cales Coves, "N" = Numancia y "ND" = No detectado.

TABLA I. *Transcripción de los resultados de los análisis químicos de las cuentas (% en peso, según sus respectivos autores).*

5.3. Puig des Molins (Ibiza)

El yacimiento es uno de los más importantes de España porque se han recuperado numerosas cuentas de vidrio con una amplia variedad tipológica y en buen estado de conservación (Fig. 3B) (Ruano, 1996).

El análisis de una cuenta fusiforme negra (tabla I, PDM-1) desveló una alta concentración de óxido de cobalto ($\text{CoO} = 0,20\%$ en peso). Este óxido produce una coloración azul muy intensa que a la vista pudiera confundirse con un color negro.

La cuenta oculada azul turquesa (tabla I, PDM-2) presentó altos contenidos de óxido de cobre y de cobalto. La combinación de ambos óxidos puede ser la responsable de la coloración de la pieza, aunque parece predominar el óxido de cobre.

El análisis de la cuenta oculada amarilla (tabla I, PDM-3) presentó un porcentaje relativamente alto de óxidos de hierro y de plomo. La especie Fe^{3+} puede ser la responsable de la coloración amarilla de la pieza. Por el contrario, el óxido de plomo actúa en la red vítrea haciendo que la pieza sea más opaca.

5.4. El Jardal (Badajoz)

El análisis químico presente en el trabajo consultado (Fig. 3C) (Ruano *et al.*, 1997, Jiménez Ávila, 2001) mostró un alto contenido en óxido de calcio (tabla I, EJ-1) que actúa en la red vítrea estabilizando la red y, por tanto, dificultando la desalcalinización. Según el artículo, la cuenta presentó un buen estado de conservación, lo que confirmaría la estabilidad del vidrio. Además, el análisis presentó un alto contenido en óxido de sodio que pone de manifiesto el limitado avance del proceso de degradación.

5.5. El Cigarralejo (Murcia)

Las cuentas halladas en el yacimiento de El Cigarralejo mostraron un avanzado estado de degradación. Los análisis realizados que se publican en el trabajo (Ruano *et al.*, 1995) muestran un bajo porcentaje del óxido de sodio, de potasio y de magnesio, así como un enriquecimiento relativo de los óxidos más estables como el óxido de silicio, de aluminio y de calcio. Estos resultados pueden relacionarse con

un avanzado estado de desalcalinización, donde se han extraído los elementos más ligeros frente a los más estables.

El análisis de una cuenta bicónica opalada verde (tabla I, EC-1) mostró un alto contenido de óxido de hierro. El cromóforo del vidrio pudiera ser la especie Fe^{2+} que da una coloración verdosa. Por otro lado, también es destacable el alto contenido de óxido de fósforo ($\text{P}_2\text{O}_5 = 16\%$ en peso). Los autores (Ruano *et al.*, 1995) lo relacionan con un formador de la red vítrea, aunque también puede estar relacionado con un intercambio metálico como consecuencia del avanzado estado de degradación superficial.

5.6. Cova Massana (Mallorca)

En el yacimiento aparecieron cuentas de dos tipologías diferentes (Fig. 3D) (Rincón, 1993). El estudio mediante EDX de una cuenta gris (tabla I, MASS-1) mostró un bajo porcentaje en los óxidos de los elementos más ligeros como son el óxido de sodio, de potasio y de magnesio, además de un alto porcentaje de óxido de hierro. Según estos resultados, la pieza puede haber sufrido un fenómeno de desalcalinización, uno de los procesos más agresivos que sufren las piezas de vidrio enterradas.

El análisis de la pieza con posibles incrustaciones de cuarzo (tabla I, MASS-2) muestra un alto contenido superficial en óxido de plomo ($\text{PbO} = 39,83\%$ en peso) que se puede atribuir a una capa de decoración superficial.

5.7. Cales Coves (Menorca)

La mayoría de las cuentas aparecidas en el yacimiento de Cales Coves presenta una superficie metálica. También se encontraron cuentas marrones con decoraciones oculares (Fig. 3E) (Rincón, 1993).

El análisis de una cuenta de aspecto plateado (tabla I, CC-1) presentó un alto contenido en óxidos de plomo, de titanio y de zinc. La combinación de estos óxidos pudiera ser la responsable del aspecto metálico que presenta una parte del conjunto.

La cuenta marrón oculada presentó un alto contenido en óxido férrico (tabla I, CC-2). Este alto porcentaje puede deberse a la presencia del óxido en la matriz vítrea, aunque también puede ser debido

a un intercambio metálico de la superficie con el medio de enterramiento como consecuencia de la degradación superficial del vidrio.

5.8. Numancia (Soria)

El yacimiento de Numancia presentó 56 cuentas anulares de color azul intenso, ámbar y blanco. Se estudiaron mediante MEB-EDX y FRX en masa, es decir, se estudiaron la superficie y el cuerpo interior de las piezas, permitiendo un análisis comparativo de los procesos de degradación superficiales (García-Heras *et al.*, 2005).

El interior de la cuenta ámbar analizada mostró un alto contenido de óxido de hierro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,72\%$ en peso) (tabla I, N-1). La especie Fe^{3+} es la responsable de la coloración, como se pone de manifiesto en el análisis composicional y en el espectro de absorción visible del artículo publicado.

El análisis de la cuenta azul reveló un alto porcentaje de óxidos de metales de transición como el óxido de hierro, de cobalto y de cobre (tabla I, N-2). El espectro de absorción demostró que el cromóforo de la masa vítrea es el Co^{2+} que aporta una coloración azul intenso.

Por último, el análisis de la cuenta blanca únicamente se realizó mediante MEB-EDX debido a su escaso número. El análisis superficial mostró un alto contenido de óxido de aluminio ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,9\%$ en peso) (tabla I, N-3), que puede actuar como estabilizante de la red. El análisis, igualmente, mostró un alto contenido de óxido de sodio ($\text{Na}_2\text{O} = 15,4\%$ en peso), que pone de manifiesto la gran estabilidad de la matriz vítrea frente al proceso de desalcalinización. Este hecho concuerda con el buen estado de conservación de la cuenta que se indica en el artículo.

Un pequeño conjunto de estas 56 cuentas de vidrio presentó decoración superficial. Se realizó un estudio no destructivo de una cuenta azul con decoración en espiral (Fig. 3F). Los análisis mediante EDX mostraron que el cuerpo del vidrio, de color azul, tenía una composición similar a las cuentas azul oscuro sin decoración (tabla I, N-4 y N-5). Esta semejanza demostraría que el vidrio azul utilizado para las cuentas, con y sin decoración, es el mismo. Por otro lado, el análisis de la decoración presentó un alto contenido en óxido de plomo (tabla

I, N-6) que indica el uso de un material rico en este óxido junto con una matriz vítrea de silicato sódico cálcico.

6. Comparación de los resultados

La preparación de un gráfico ternario permite poder comparar todos los análisis con el objetivo de establecer posibles relaciones entre las cuentas. En el eje X se representa el porcentaje en peso del principal formador de la red vítrea, el óxido de silicio; en el eje Y se representan los fundentes, es decir, los óxidos metálicos que contribuyen a disminuir la temperatura de fusión del vidrio, el óxido de sodio y de potasio; y en el eje Z se representan los estabilizantes, es decir, aquellos óxidos que estabilizan la red vítrea como son el óxido de calcio, de magnesio, de plomo, de zinc y de aluminio (Fig. 4).

La dispersión de los datos en el gráfico ternario es debido a 4 razones principalmente:

- El período cronológico es muy amplio, abarca desde el siglo VIII a.C. en la necrópolis de Las Cumbres hasta las cuentas del siglo II a.C. en la necrópolis de Numancia. Durante este amplio período temporal, el avance en la tecnología pudo haber modificado la composición original de las cuentas.
- Los yacimientos se encuentran distribuidos en regiones con condiciones ambientales muy diferentes. Las características del suelo (composición, acidez) y las condiciones ambientales (temperatura, humedad) afectan a la velocidad de avance de la degradación, así como a la generación de depósitos superficiales. Estas variaciones se ven reflejadas en los análisis superficiales.
- La composición de la masa vítrea afecta a la dispersión de los resultados. Un vidrio con un bajo contenido en óxidos de elementos estabilizantes va a favorecer la desalcalinización del vidrio, es decir, la pérdida de los elementos más ligeros provocando un enriquecimiento relativo de los óxidos más estables.
- Por último, el excesivo margen temporal con que se fechan algunos yacimientos (hasta tres o cuatro siglos) induce a pensar que algunas de las piezas pudieran ser contemporáneas.

Por tanto, la comparación de los datos analíticos recogidos se hace muy difícil. Para poder establecer posibles relaciones es necesario que los análisis puedan ser comparables y que se hayan realizado en las mismas condiciones (técnica instrumental, zona de análisis). La falta de estos datos en la mayoría de los trabajos consultados ha impedido realizar un análisis más profundo de las cuentas de vidrio.

7. Conclusiones

Los análisis químicos superficiales efectuados en un buen número de cuentas de vidrio prerromanas de la Península Ibérica no resultan aceptables para el establecimiento de patrones tecnológicos o posibles áreas de procedencia geográfica. Esto es debido a que los análisis superficiales están influidos por la posible decoración superficial y por los diferentes procesos de degradación que afectan de forma diferente a las piezas en función de la composición de la masa vítrea, de las condiciones del yacimiento o, incluso, de posibles tratamientos de limpieza y restauración. El análisis superficial únicamente resultaría aceptable en el caso de ser piezas con un valor especial por su escasez o singularidad, para evitar la destrucción parcial o total de la pieza.

Por otro lado, el color de una pieza es consecuencia de la absorción de las longitudes de onda de la radiación visible características de una determinada especie química conocida como cromóforo. El resultado es la observación del color complementario al absorbido. La posible interacción de diferentes cromóforos puede hacer variar la coloración de la pieza pudiendo, incluso, contrarrestarse y obtener un vidrio incoloro. El color de una pieza es una propiedad óptica y, por tanto, es necesario su estudio mediante una técnica óptica como la espectrofotometría ultravioleta-visible y no mediante el análisis de su composición química.

Por último, el estudio arqueométrico de una pieza no debe reducirse a una simple tabla analítica. Es necesario realizar una interpretación de los datos

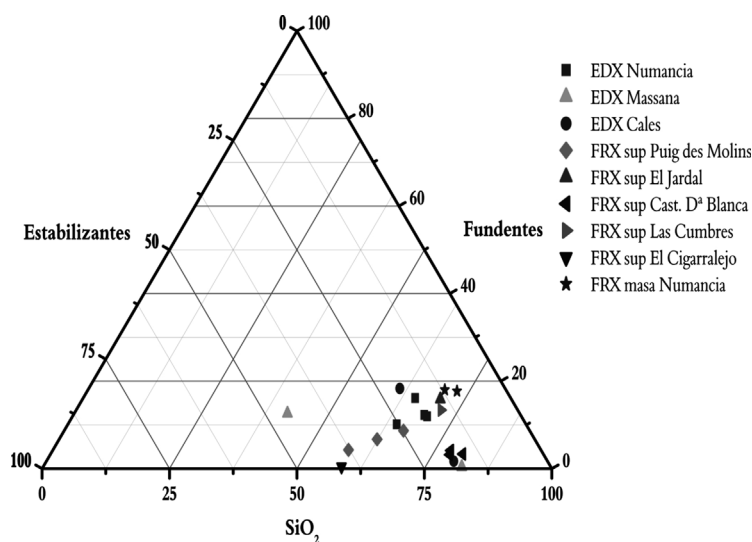


FIG. 4. Gráfico ternario que representa las diferentes composiciones químicas de las cuentas analizadas. Fundentes (Na_2O y K_2O). Estabilizantes (CaO , MgO , PbO , ZnO , Al_2O_3). Sup = Superficial.

en su contexto para conocer mejor las piezas, su funcionalidad, las materias primas que se utilizaron, la tecnología empleada para su producción, los procesos de degradación experimentados y las mejores estrategias para su futura conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación parcial del Programa Consolider Ingenio 2010 TCP-CSD 2007-00058 y del proyecto CICYT-MAT ref. 2006-04486. T. Palomar agradece una beca predoctoral FPU al Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y J. Peña-Poza un contrato GP1 de titulado superior de actividades técnicas y profesionales al Programa Consolider mencionado. Asimismo, los autores agradecen a los Dres. J.M. Rincón, M.A. Villegas y M. García-Heras su colaboración en la realización de este trabajo.

Bibliografía

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, pp. 727-738.
- JIMÉNEZ ÁVILA, F. J. (2001): "La necrópolis de El Jardal (Herrera del Duque, Badajoz): Elementos del ritual funerario del suroeste peninsular a finales de la I Edad del Hierro", *Complutum*, 12, pp. 113-122.
- RINCÓN, J. M. (1993): "Microstructure and Microanalysis (SEM/EDX). Determination of Glasses from Mallorca and Menorca Caves", *Trabajos de Prehistoria*, 50, pp. 263-266.
- ROVIRA I PORT, J. (1994): "Ámbar y pasta vítrea: elementos de prestigio entre el Neolítico Avanzado y el Bronce Final del nordeste de la Península Ibérica. Un primer estado de la cuestión", *Cuaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló*, 16, pp. 67-92.
- RUANO, E. (1995): "Cuentas policromas prerromanas decoradas con ojos", *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Historia Antigua*, 8, pp. 255-286.
- (1996): *Las cuentas de vidrio prerromanas del museo arqueológico de Ibiza y Formentera*. Ibiza. Treballs del Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera.
- (2001a): "El vidrio antiguo (siglo VIII al IV a.C.). El Castillo de Doña Blanca (El Puerto de Santa María, Cádiz) I. Las cuentas de vidrio procedentes del poblado del Castillo de Doña Blanca, El Puerto de Santa María, Cádiz", *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 41, pp. 57-63.
- (2001b): "El vidrio antiguo (siglo VIII al IV a.C.). El Castillo de Doña Blanca (El Puerto de Santa María, Cádiz) III. Cuentas de collar de vidrio procedentes del túmulo 1 de la necrópolis de Las Cumbres, Castillo de Doña Blanca, El Puerto de Santa María, Cádiz", *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 41, pp. 71-78.
- 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, pp. 189-206.
- (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.