

## **EL PROYECTO DE ARCHAECHEMIS EN EL CASTILLO DE SAGUNTO**

*Gianni Gallelo*

*Departamento de Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua,  
Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Valencia,*

*Agustín Pastor*

*Departamento de Química Analítica, Facultad de Química,  
Universidad de Valencia*

*Emilia Hernández*

*Museo Arqueológico de Sagunto*

### **1. INTRODUCCIÓN**

Desde el año 2015 la unidad de investigación multidisciplinar ArchaeChemis, con la autorización y colaboración de la Dirección General de Cultura de la Generalitat Valenciana, ha llevado a cabo múltiples trabajos pioneros en materiales arqueológicos del Castillo de Sagunto, que han consistido en el empleo de distintas técnicas analíticas para estudiar los morteros, piedras, cerámicas y metales y así por la primera vez aclarar problemáticas como la identificación de la procedencia de materias primas o la identificación de los procesos de manufacturación de estos materiales.

ArchaeChemis ([www.uv.es/archaechemis/](http://www.uv.es/archaechemis/)) es una unidad de investigación multidisciplinar nacida entre el Departamento de Química Analítica y el Departamento de Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua de la Universidad de Valencia con el objetivo de investigar sobre materiales orgánicos e inorgánicos, y desarrollar nuevas metodologías y soluciones analíticas para la Arqueología y el Patrimonio Cultural en general. En estos últimos cinco años,

los investigadores de ArchaeChemis han llevado a cabo numerosos estudios colaborando tanto con instituciones españolas como extranjeras, publicando en revistas científicas prestigiosas y participando en congresos nacionales e internacionales.

La envergadura del proyecto desarrollado en Sagunto se pudo apreciar desde los inicios durante los primeros análisis en los materiales de construcción del Castillo de Sagunto cuando el responsable del proyecto e investigador de la Universitat de València, Gianni Gallelo, en una nota de prensa afirmaba que los primeros datos estaban aportando información muy interesante acerca de la procedencia de los materiales de construcción empleados en época romano-republicana.

Entonces, se adelantaba que el proyecto tenía una proyección internacional, y que los datos aportados se publicarían en prestigiosas revistas científicas y se presentarían en congresos internacionales, dando así a conocer este importante Bien de Interés Cultural a la comunidad científica internacional. (La Vanguardia, 27/02/2015).

También, empezados los trabajos de análisis, se puso en evidencia que esta investigación sería pionera en la historia de los estudios de este “Bien de Interés Cultural” ya que el equipo multidisciplinar estaba formado de profesionales que combina conocimientos históricos, arqueológicos, geológicos, químicos y medioambientales.

Finalmente los datos obtenidos han sido publicados en revistas internacionales y presentados en congresos. En este trabajo se van a describir de manera resumida los trabajos publicados relacionados con las investigaciones llevadas a cabo con el análisis de morteros (Gallelo et al 2017; Ramacciotti et al 2018 ), el análisis de los sillares de piedras calizas (Ramacciotti et al 2019) y arenarias (Ramacciotti et al 2020a), así como los estudios analíticos publicados de la colección de estatuillas de bronce expuestas en el Museo Arqueológico de Sagunto (Barberá-Rubio et al 2019) y el estudio de procedencia de los fragmentos de ánforas conservadas en los almacenes del mismo museo (Ramacciotti et al 2020b).

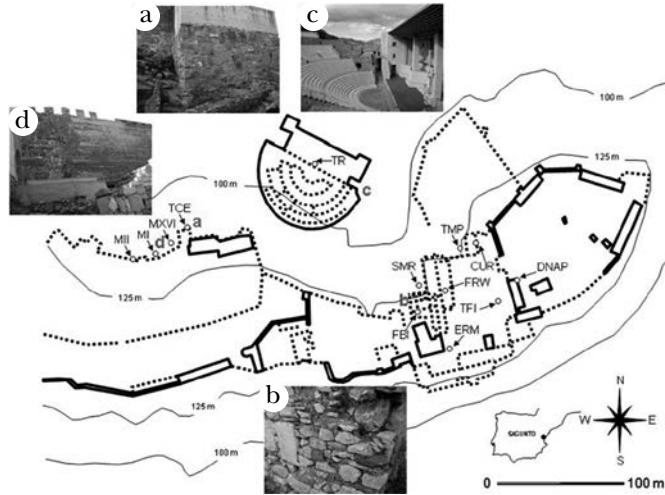
## **2. LOS MORTEROS**

En el año 2017 se publicó por primera vez, en la revista *Microchemical Journal* (Gallelo et., 2017) los resultados de los análisis de los morteros del Castillo. Durante la primera fase del proyecto se desarrolló un novedoso método de

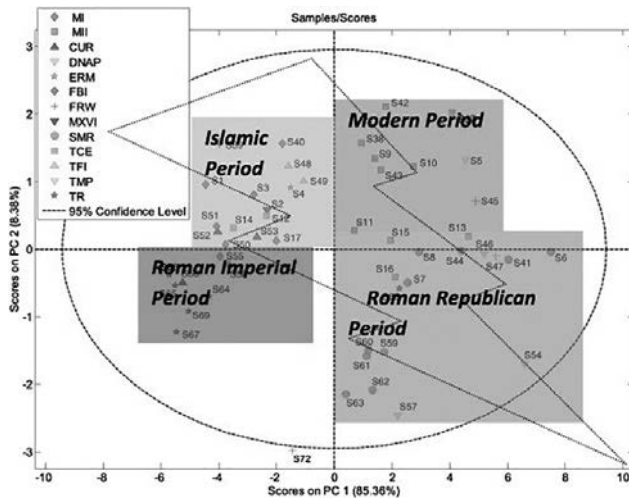
cronología indirecta basado en el análisis de morteros, para identificar los períodos de construcción del Castillo de Sagunto, especialmente útil para identificar alzados que eran de datación incierta. El método se basaba en la determinación de elementos trazas, incluyendo los elementos de tierras raras (REE) y los elementos mayoritarios medidos con espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y análisis de fluorescencia de rayos X (XRF). Los datos obtenidos de los elementos medidos se procesaron a través del análisis de componentes principales (PCA) y se mostraron diferencias entre morteros pertenecientes a estructuras de distintos períodos de construcción así como se pudieron situar cronológicamente estructuras cuyo periodo de construcción era incierto.

El tratamiento estadístico de los elementos mayoritarios y elementos trazas solamente permitió separar los morteros en dos grupos principales: el primero compuesto básicamente por morteros caracterizados por bajos niveles de óxido de calcio (CaO) y que correspondían a edificios y murallas de la época republicana. El segundo grupo, incluidos los morteros caracterizados por altos niveles de CaO y que corresponde a edificaciones y muros de los períodos sucesivos. Esta diferencia puede deberse tanto al estado de conservación de los morteros pero también al proceso de manufacturación que cambia en los siglos. Los análisis petrográficos junto con evidencias arqueológicas sugirieron que los materiales empleados para hacer el mortero se extrajeron en los afloramientos de piedra caliza cerca del Castillo al menos desde el periodo Romano Imperial hasta la época moderna.

El análisis estadístico tratando los datos de REE mejora claramente la clasificación antes mencionada encontrando subgrupos adicionales y permitiendo identificar las diferentes fases de construcción que siguieron al período republicano (Figuras 1 y 2). En particular, los morteros del Teatro de época imperial se separaban del primer tramo de la muralla islámica y señalan la influencia de la fase de construcción islámica en los edificios del área del Foro Imperial, que se encuentran entre estas dos fases. De otro lado, los morteros recogidos de las paredes de la muralla de edad moderna formaban un grupo aparte (Figura 2). Los morteros del segundo tramo de la muralla mostraban cierta afinidad con la muestra del cuartel napoleónico y esto está en línea con la hipótesis de una reconstrucción por los daños que sufrió este tramo durante las guerras napoleónicas. En conclusión, el estudio de los morteros del Castillo de Sagunto permitió aclarar cuestiones importantes sobre la estratigrafía muraria y se pudo comprobar la efectividad de un novedoso método de cronología indirecta desarrollado basado en el análisis de las tierras raras.



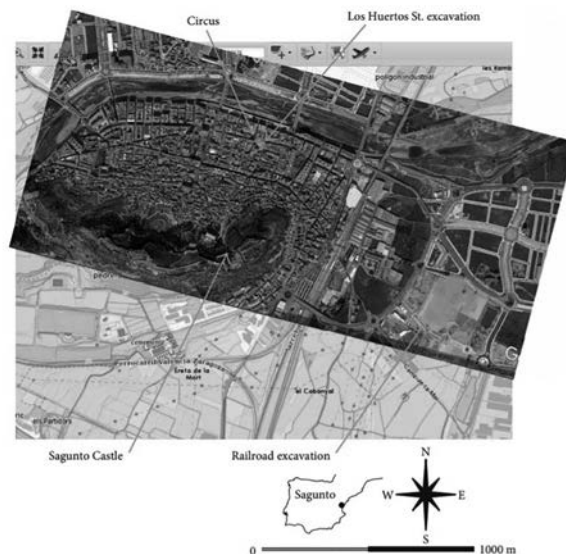
**Fig.1.** Mapa del Castillo de Sagunto y localización de los puntos de muestreo. Fotos: a) Torre Central Estudiantes; b) muro de la Basílica; c) Teatro Romano; d) muro del siglo XVI (en primer plano) y primer tramo de la muralla Islámica (fondo) (Figura de Microchemical Journal, Gallello et al 2017).



**Fig.2.** Distribución del modelo estadístico PCA empleando las REE y la relación cronológica de las muestras muestreada en el Castillo de Sagunto (Figura de Microchemical Journal, Gallello et al. 2017).

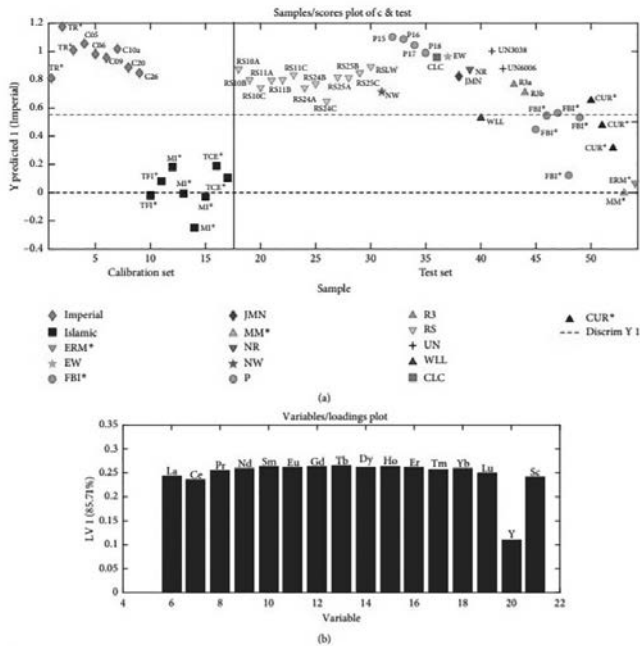
Sucesivamente en el trabajo publicado en el *Journal of Spectroscopy* (Ramacciotti et al 2018) se presentó un estudio adonde se analizaron cuarenta y dos muestras de mortero, procedentes de dos excavaciones arqueológicas ubicadas en Sagunto en Calle Los Huertos, incluyendo el Circo y Estación de Ferrocarril (Figura 3), empleando las mismas técnicas analíticas usadas en trabajos anteriores para determinar elementos mayoritarios, minoritarios, incluidos elementos de las REE. Los datos recopilados fueron cruzados con los obtenidos previamente de los morteros del Castillo de Sagunto (Gallelo et al 2017), y se aplicó aquí también el análisis PCA para discriminar las fases de construcción de los edificios excavados. Las REE permitieron atribuir la mayoría de mortero al periodo Romano Imperial. Además, se construyó un modelo estadístico empleando análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) para clasificar los morteros del período imperial romano y del período islámico debido a la problemática superposición entre estas dos fases (Figura 4). Los resultados confirmaron la eficacia del método de cronología indirecta desarrollado, basado en datos de REE, para discriminar entre morteros históricos de diferentes períodos de construcción a gran escala, como comparando diferentes sitios arqueológicos de Sagunto.

Sin embargo, el caso de las estructuras de la Estación de Ferrocarril necesitaría estudios más profundos para confirmar la cronología como Edades Romanas Imperiales o Tardoantigua.



**Fig.3.** Mapa de la ciudad de Sagunto con las áreas muestradas (Figura del *Journal of Spectroscopy*, Ramacciotti et al. 2018).

Además la correlación entre REE y elementos mayores, menores y traza mostró que los mecanismos que permitieron a las REE establecer parámetros discriminatorios entre morteros de Sagunto pertenecientes a diferentes períodos están relacionados con procesos químicos de meteorización que involucran impurezas de arcilla y caliza, presentes en la fracción agregada. Por lo tanto, es necesario desarrollar más estudios enfocados en la comprensión de los procesos químicos que están influyendo en las distribuciones de REE.



**Fig.4:** resultados PLS-DA results. (a) Calibration set y Test set para identificar la pertenencia de las muestras. (b) VIP scores del modelo PLS-DA empleando los elementos de las tierras raras. Leyenda de los puntos de muestreo de los morteros. Época imperial (Imperial) y Época Islámica (Islamic) incluyen morteros de las estructuras del Castillo y del Circo en la calle los Huertos. Castillo de Sagunto: Ermita (ERM) ; Basílica (FBI); Muro moderno (MM); Curia (CUR). Calle los Huertos: Muro oriental (EW); Jamba norte (JMN); Noria (NR); Muro norte (MN); Pilastra (P); Habitación 3 (R3); Desconocido (UN); Pozo (WLL); Cloaca (CLC). Excavación de la estación de ferrocarril: Muro (RS). (Figura del Journal of Spectroscopy, Ramacciotti et al. 2018).

Finalmente, estos dos estudios (Gallelo et al., 2017; Ramacciotti et al., 2018) han confirmado la efectividad de los datos de REE en morteros para determinar diferentes fases de construcción y también la utilidad de estos análisis en una escala geográfica más amplia que una única excavación arqueológica o monumento.

### 3. LOS SILLARES

El paso sucesivo del proyecto ArchaeChemis en Sagunto fue el llevar a cabo, por primera vez, un estudio analítico de los sillares de roca carbonatada de algunos tramos de la muralla y de algunas estructuras del Castillo de Sagunto, un trabajo publicado en el *Journal of Archaeological Science: Reports*. Se recogieron cuarenta muestras de trece estructuras diferentes del Castillo de Sagunto y dos canteras, ubicadas en el cerro de Sagunto, a efectos comparativos (Figura 5). Las muestras se analizaron mediante difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X (XRD) y espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para determinar su composición mineralógica y elemental. Los datos obtenidos mostraron características químicas y mineralógicas similares entre las rocas que afloran en las canteras de la ciudad y algunas de las empleadas para construir las estructuras, lo que sugería que las rocas podrían haberse utilizado para construir las estructuras durante los diferentes períodos históricos a lo largo de los siglos. Para explicar con un poco más de detalle, los resultados químicos y mineralógicos de las piedras extraídas mostraron cinco diferentes facies de dolomita y litologías calizas (dolomías calcíticas, dolomías ligeramente calcíticas, calizas dolomíticas, calizas y calizas levemente dolomíticas) todas ellas aflorando en la secuencia sedimentaria del área de Sagunto, de acuerdo a lo indicado por Goy et al. (1972). Esta discriminación, sugerida por datos químicos y mineralógicos, ha sido confirmada por la relativa cantidad de óxido CaO y de óxido de magnesio (MgO) y por la variabilidad de los elementos menores y trazas. En cuanto a cuestiones de procedencia, los datos mencionados parecían indicar una semejanza composicional entre sillares de la muralla y estructuras ricas en dolomita (dolomita ligeramente calcítica, dolomita calcítica, caliza dolomítica y caliza dolomítica) y muestras de piedra de las antiguas canteras locales a los pies del Castillo que llamamos del “Calvario” y del “Teatro”.

Además, las muestras tomadas de estas dos canteras indicaron una composición mineralógica ligeramente diferente entre ellas, cubriendo toda la gama de rocas carbonatadas: las piedras de la cantera del “Teatro” puede ser clasificadas como dolomías ligeramente calcíticas, mientras que en la

cantera del “Calvario” los materiales pueden abarcar desde la dolomita calcítica hasta la piedra caliza dolomítica. De hecho, la fortaleza del Castillo de Sagunto está construida sobre el afloramiento rocoso de Litologías del Triásico “Muschelkalk”, que muestran diferentes facies de dolomita a caliza dolomítica.

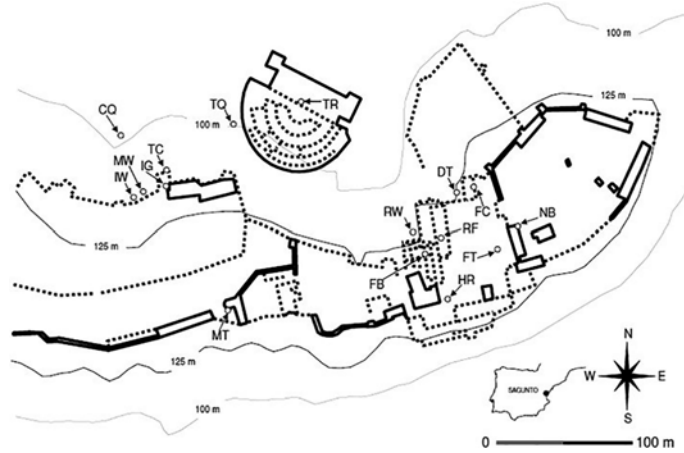
Respecto a la otra tipología identificada como la caliza, hasta ahora no se han identificado canteras antiguas locales en la proximidad de Sagunto, aunque en la zona está indicada la aparición de este litotipo a pocos kilómetros al suroeste y noroeste del yacimiento arqueológico (Goy et al. 1972). Pero en la zona aparecen algunas calizas “Buntsandstein” del Triásico de Lias (Pliensbachiense, Sinemuriense, Hettangiense) que también aparecen, junto con dolomitas, calizas bioclásticas y carniolas. En un radio de 5 km del castillo, varias facies de piedra caliza se identificaron como Dogger y Lower Malm (Oxfordiense) y calizas margosas con nódulos (Goy et al., 1972).

Este primer estudio sugirió interesantes observaciones históricas y arqueológicas, especialmente al cruzar los resultados con los análisis de morteros de Gallello et al. (2017) y Ramacciotti et al. (2018). En primer lugar, se utilizaron sillares de piedra caliza en la mayoría de las muestras de edificios que datan de la época romana, indicando un uso predominante de materias primas de canteras fuera del ciudad, siendo explotada durante los períodos republicano e imperial. La aparición de piedras de tipo dolomítico similares a las rocas que afloran en las canteras de la ciudad en casi todas las estructuras investigadas sugiere el posible uso ininterrumpido de materiales de construcción provenientes de las canteras del “Calvario” y “Teatro”. La explotación de las dos canteras dentro de la ciudad durante la época romana sería posible y podrían ser ejemplos comparables a la pequeña cantera de PERI2 en Tarragona (Gutiérrez García-M, 2011).

Finalmente, los tipos de piedra identificados en la estructuras estudiadas confirma las consideraciones, sugeridas por los estudios arqueológicos y arqueométricos previos sobre morteros del Castillo de Sagunto (Gallello et al., 2017), según el cual intensos trabajos de reconstrucción involucraron a la mayoría de edificios desde la época romana hasta la Edad Moderna.

Este estudio demostró la capacidad de los análisis químicos y minerales para discriminar rocas carbonatadas y respaldar estudios arqueológicos, proporcionando información sobre la procedencia de las materias primas y la reconstrucción de las fases arquitectónicas, con una cantidad mínima (<1g) de muestra.



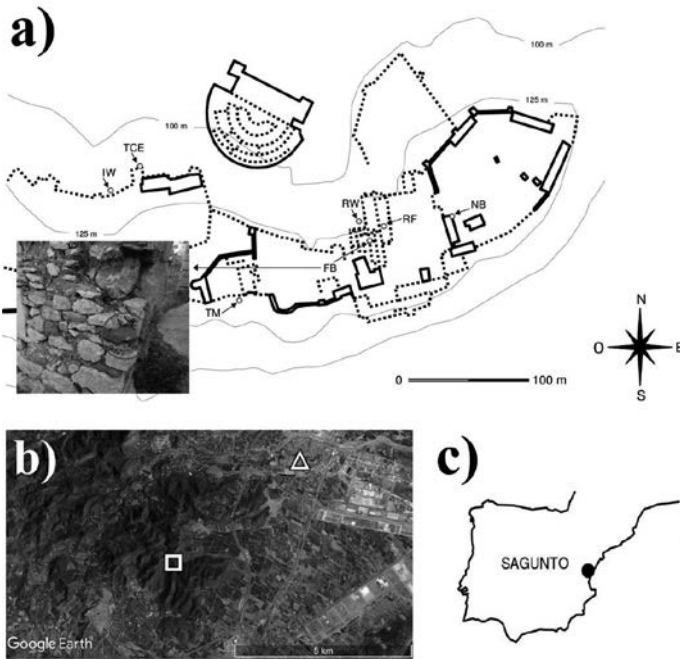


**Fig.5:** puntos de muestreo de los sillares en el Castillo de Sagunto. Cantera del “Calvario” (CQ) y cantera del “Teatro” (TR) (Figura del *Journal Archaeological Science: Reports*, Ramacciotti et al. 2019).

Aunque con un número de muestras inferior, se llevó a cabo también un análisis de los sillares de arenisca que se recogieron en la muralla y estructuras del castillo de Sagunto publicado en el *Archivo de Prehistoria Levantina* (Ramacciotti et al. 2020). Las piedras de arenisca muestreadas también pertenecían a las estructuras de distintos periodos del Castillo con características macroscópicas similares a las que se encuentran en el afloramiento del Monte Picayo donde se recogieron algunas muestras (Figura 6). Las muestras fueron analizadas empleando como en trabajos anteriores XRF y ICP-MS para obtener las concentraciones de elementos mayoritarios y traza incluyendo tierras raras.

Los resultados indicaron que se emplearon materiales similares en las diferentes fases de ocupación del Castillo de Sagunto. Efectivamente, los muros de las estructuras romanas, islámicas y modernas se construyeron utilizando sillares de arenisca caracterizados por una composición de tierras raras similar. Además estos sillares son similares a la arenisca del Monte Picayo desde el punto de vista macroscópico y por su composición en tierras raras, sugiriendo que las materias primas se pudieran haber extraído de canteras que estaban en este monte. Por otro lado se encontraron diferencias en elementos mayoritarios y trazas entre muestras geológicas

y arqueológicas y esto parece estar indicando posibles efectos de degradación en los sillares del Castillo debidos a la exposición ambiental y el efecto de la contaminación. Finalmente la presencia de algunas muestras de la torre central estudiantes (TCE) y de la Basílica (FB) (Figura 6) que no se agrupan por su composición en tierras raras con el resto deja abierta la posibilidad de materias primas diferentes. De hecho, como se confirmó en los estudios de los morteros y de los sillares de rocas carbonatadas (Gallello et al., 2017; Ramacciotti et al., 2019), tanto TCE como FB fueron objeto de importantes trabajos durante la fases siguientes al periodo romano.



**Fig.6.** Puntos de muestreo de los sillares de arenisca a) y punto de muestreo en el afloramiento del Monte Picayo b). (Figura del Archivo de Prehistoria Lecantina, Ramacciotti et al. 2020).

#### 4. LAS ESTATUILLAS DE BRONCE

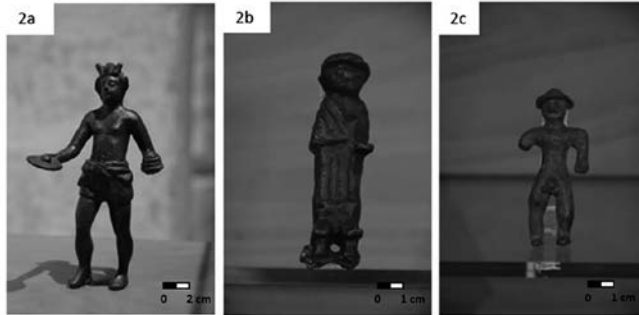
El objetivo principal del trabajo publicado en la revista *Radiation Physics and Chemistry* (Rubio-Barberá et al. 2019) fue el estudio de la composición química de la importante colección de estatuillas votivas ibero-romanas de bronce expuestas en el Museo Arqueológico de Sagunto (España) que in-

cluye las estatuillas de Montaña Frontera y Partida de la Vila y las encontradas en una excavación en el Castillo de Sagunto (Figura 7). La precisión y exactitud de las mediciones se obtuvieron desarrollando un método analítico adecuado, evitando además cualquier posible daño a los objetos estudiados utilizando un sistema portátil de fluorescencia de rayos X (pXRF). Se empleó Análisis de Componentes Principales (PCA) para discriminar entre grupos en función de las proporciones Fe / Cu, Pb / Cu, Sn / Cu, Ag / Cu, Ni / Cu e Impurezas / Cu para observar las diferencias entre los procesos de fundición, fabricación y materias primas utilizados (Figura 8). La caracterización química de las estatuillas de bronce cruzadas con datos arqueológicos, dio importantes sugerencias para aclarar cuestiones relativas a los procesos de fabricación, la calidad y las cronologías de los objetos estudiados. Se realizó un estudio comparativo entre la colección del Museo Arqueológico de Sagunto y una colección de treinta y dos figurillas votivas ibéricas del Museo de Prehistoria de Valencia también medida por pXRF (Roldán García y Vives-Ferrándiz Sánchez, 2018). Esta segunda colección proviene de los Santuarios de Collado de los Jardines y Altos del Sotillo en los alrededores de Jaén (España) y datan del siglo IV-III a.C. Los resultados obtenidos por Roldán García y Vives-Ferrándiz Sánchez (2018) de Pb, Sn y Cu se cruzaron con nuestros datos producidos (Figura 9). Las estatuas se pudieron clasificar en función de los avances tecnológicos de los procesos de fabricación que revelan la creciente cantidad de Sn y Pb (Karydas, 2007).

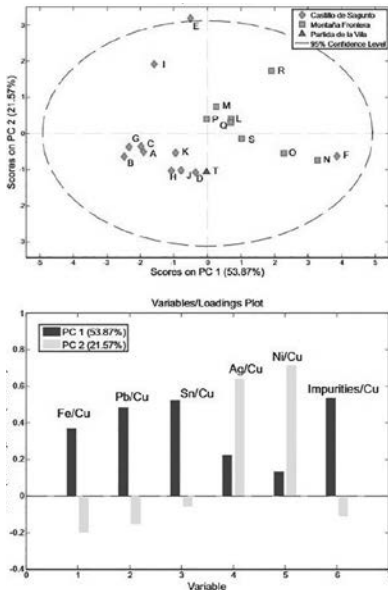
Este estudio comparativo se realizó para corroborar la edad de las estatuas y verificar la utilidad de las proporciones empleadas para la determinación de la cronología. Estos resultados están en línea y refuerzan las conclusiones obtenidas en el PCA destacando que un incremento de Sn y Pb con respecto a Cu está directamente relacionado con un proceso de fabricación moderno. Sin embargo, la hipótesis de un material más puro empleado para las representaciones de dioses debe ser tenidos en cuenta para figuras como “Baco” y “Venus”. La estatuilla de “Júpiter” también está relacionada de manera opuesta con las figuras mencionadas y puede que haya sido empleada una materia prima diferente de las otras figuras.

Sin embargo el uso de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva permitió determinar con éxito, por primera vez, la composición metálica de veinte estatuillas arqueológicas de bronce de Sagunto, a pesar de las limitaciones para realizar mediciones sobre valiosos y frágiles objetos arqueológicos. Mediante análisis multivariado realizado por Análisis de Componentes Principales (PCA) y empleando Fe / Cu, Sn / Cu, Pb / Cu e Impurezas / Cu como variables pudimos diferenciar las estatuas según sus procesos de fundición y fabricación. Nuestro enfoque metodológico establecido y los

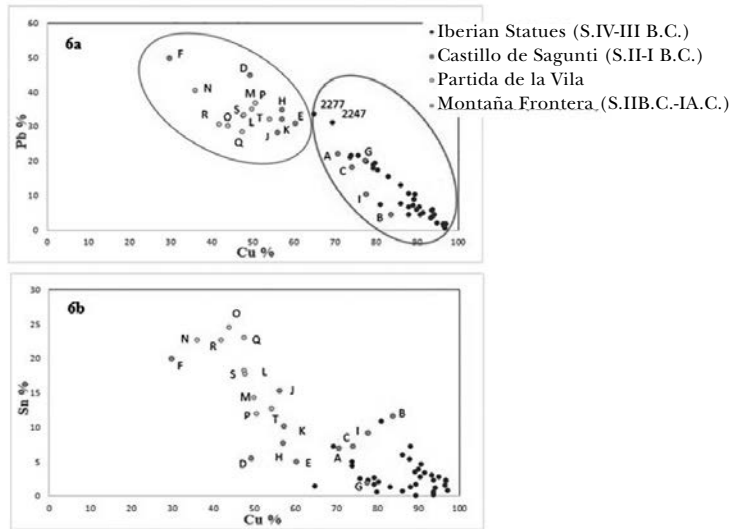
resultados obtenidos confirman que las estatuas del yacimiento arqueológico Castillo de Sagunto fueron fabricadas antes que las estatuas de Montaña Frontera y Partida de la Vila. Además, utilizando las mencionadas proporciones fue posible desarrollar hipótesis sobre las estatuillas que representan a dioses y que no están hechas con materias primas locales (Júpiter) o se han empleado materias primas más puras (Baco y Venus).



**Fig.7.** Estatuillas representativas de cada área de excavación de descubrimiento del conjunto estudiado: (2a) Castillo de Sagunto; (2b) Montaña Frontera; (2c) Partida de la Vila (Figura de Radiation Physics and Chemistry, Rubio-Barberá et al. 2019).



**Fig.8.** Modelo PCA, score plot (arriba) y loadings plot (abajo) del conjunto estudiado (Figura de Radiation Physics and Chemistry, Rubio-Barberá et al. 2019).



**Fig.9.** Correlación Pb-Cu% (6a) y Sn-Cu% (6b) para comparar la composición de Castillo de Sagunto, Partida de la Vila y Montaña Frontera con los resultados de las estatuas Iberas publicados por Roldán García y Vives-Ferrándiz Sánchez (2018) (Figura de Radiation Physics and Chemistry, Rubio-Barberá et al. 2019).

## 5. LAS ÁNFORAS

En uno de los últimos trabajos publicados se ensayó un innovador enfoque multianalítico publicado en la revista *Applied Clay Science* para la clasificación de un conjunto de ánforas (Ramacciotti et al. 2020). Se estudiaron veinte fragmentos de ánforas romanas pertenecientes a diferentes tipologías conocidas y veintisiete sin clasificar como parte de la colección del Museo Arqueológico de Sagunto (Figura 10) mediante análisis multielemental con espectroscopia de fluorescencia de rayos X (pXRF) y espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), espectroscopia de infrarrojo cercano por transformada de Fourier (FT-NIR) y voltamperometría (VIMP) empleando una cantidad inferior al gramo de muestra. Los análisis estadísticos se basaron en el análisis de componentes principales (PCA) y permitió la identificación de la mayoría de las muestras no clasificadas (Figura 11), lo que demuestra la importancia del enfoque metodológico desarrollado para la clasificación de fragmentos, no clasificables con los métodos clásicos, de ánfora pero también podrían ser útiles para otros tipos de objetos cerámicos.

Los resultados obtenidos demostraron que las concentraciones elementales obtenidas con pXRF y ICP-MS estaban principalmente relacionadas con las materias primas empleadas para la producción de las ánforas, mientras que los resultados de FT-NIR y VIMP estaban también influenciados por las condiciones de fabricación tales como atmósfera y temperatura de cocción. La posibilidad de cruzar los resultados estadísticos de los tres enfoques permitió reducir las posibles clasificaciones a una o dos tipologías de ánforas para la mayoría de las muestras estudiadas. Sin embargo, algunas muestras no se pudieron clasificar porque los diferentes métodos dieron resultados no concluyentes, aunque, en algunos casos, los resultados del análisis multielemental permitieron mejorar la primera clasificación basada en los resultados estadísticos.

El PCA utilizando REE como variables permitió la clasificación de diecisiete de las veintisiete muestras no clasificadas, mientras que veinte pudieron ser clasificadas usando FT-NIR. Por otro lado, todas las muestras no clasificadas recibieron una clasificación usando VIMP.

Sin embargo, nuestra metodología propuesta representa sólo un punto de partida y se deben realizar estudios futuros que analicen varias muestras de ánforas con un mayor número de tipologías para construir una base de datos significativa que permita la clasificación de los fragmentos no identificados.

Para optimizar el enfoque propuesto, en futuros análisis complementarios mirando a las características petrográficas y mineralógicas podría obtenerse utilizando técnicas tradicionales como la microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido: espectroscopia de rayos X de dispersión de energía, difracción de rayos X y espectroscopia de infrarrojo medio.

De todos modos se desarrolló con éxito un innovador enfoque multianalítico para clasificar los tipos de ánforas romanas utilizando menos de 1 g de muestra. Por ejemplo, con los métodos empleados se pudieron distinguir fragmentos de tipologías de ánforas muy importantes en las colecciones del Museo Arqueológico de Sagunto como son las "Ibero-Romanas" y las "Púnica" (Figura 12). Pero también se han podido definir tipologías menos presentes empleando las concentraciones de las tierras raras (REE), permitiendo la discriminación de ánforas Campanienses de otros tipos mediterráneos y, finalmente, la variabilidad de REE observada para algunas tipologías sugirió su fabricación en diferentes lugares de producción (Figura 12). Esta última hipótesis es de gran importancia, ya que muestra los límites de la identificación morfológica y clasificaciones regionales y refuerza la necesidad de desarrollar enfoques multianalíticos para comprender la procedencia de los ensamblajes cerámicos.



**Fig.10.** Algunos de los fragmentos de ánfora analizados almacenados en el Museo Arqueológico de Sagunto (España).

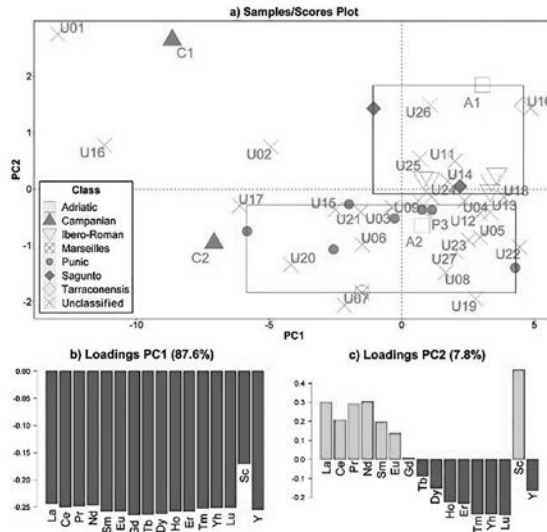
**Table 4**

Typologies of the unclassified samples according to multielement analysis (MA), FT-NIR and VIMP, and their final attribution.

Sample	MA	FT-NIR	VIMP	Final Attribution	Sample	MA	FT-NIR	VIMP	Final Attribution
U01	C	Uncertain	A·P·C·S	C?	U15	P·M·A	Uncertain	S·M	M?
U02	Uncertain	P·C·M·S	S·M	S or M	U16	C	P·C·M·S	S·M	C?
U03	P·M·A	P·C·M·S	A·P·C·S	P	U17	Uncertain	P·C·M·S	I	Not classified
U04	Uncertain	I	I	I	U18	Uncertain	P·C·M·S	A·P·C·S	P or S
U05	P·M·A	P·C·M·S	A·P·C·S	P	U19	Uncertain	P·C·M·S	I	Not classified
U06	P·M·A	P·C·M·S	I	Not classified	U20	P·M·A	P·C·M·S	A·P·C·S	P
U07	Uncertain	P·C·M·S	A·P·C·S	P or S	U21	P·M·A	P·C·M·S	S·M	M?
U08	P·M·A	P·C·M·S	S·M	M?	U22	Uncertain	P·C·M·S	S·M	S or M
U09	Uncertain	P·C·M·S	A·P·C·S	P or S	U23	P·M·A	Uncertain	A·P·C·S	P or A
U10	Uncertain	Uncertain	S·M	S?	U24	Uncertain	I	I	I
U11	I·S·T·A	P·C·M·S	S·M	S	U25	I·S·T·A	P·C·M·S	A·P·C·S	Not classified*
U12	P·M·A	P·C·M·S	S·M	M?	U26	I·S·T·A	Uncertain	A·P·C·S	S or A
U13	P·M·A	Uncertain	A·P·C·S	P or A	U27	P·M·A	Uncertain	A·P·C·S	P or A
U14	I·S·T·A	P·C·M·S	I	Not classified					

Note: A = Adriatic, C = Campanian, I = Ibero-Roman, M = Marseilles, P = Punic, S = Saguntine, T = Tarraconensis. \*U25 was not classified since the analytical classification is in contradiction with the typological one.

**Fig.11.** Clasificación de las muestras de tipología desconocida a través del método desarrollado (Figura del Applied Clay Science, Ramacciotti et al 2020).



**Fig.12.** Modelo PCA (a) usando como variable las tierras raras, Variables/Loadings barplots (b) PC1 y (c) PC2 (Figura del Applied Clay Science, Ramacciotti et al 2020).

## CONCLUSIONES

El trabajo de investigación llevado a cabo por el equipo de ArchaeChemis en el Castillo de Sagunto y el Museo Arqueológico ha aportado datos nuevos y ha servido en algunos casos de soporte para confirmar hipótesis ya desarrolladas por estudios arqueológicos más clásicos.

Seguramente el proyecto de ArchaeChemis en Sagunto ha marcado un antes y después en la historia de las investigaciones del patrimonio saguntino, dando a las investigaciones y resultados obtenidos un impacto internacional y una difusión que no se había alcanzado anteriormente. Las problemáticas tratadas han sido de gran interés, y se han desarrollado y ensayado propuestas metodológicas multidisciplinares e innovadoras de gran interés que han permitido poner las bases para la solución de problemáticas relacionadas con la cronología empleando los análisis de morteros, la procedencia de materiales de construcción con el análisis de los sillares de caliza y arenisca y aspectos de manufacturación y materias primas con los análisis de las estatuillas de bronce y los fragmentos de ánforas. En estos momentos se están poniendo en marcha nuevos estudios que incluyen el desarrollo de métodos de monitorización para la conservación del Castillo



de Sagunto, dando así continuidad al proyecto de ArchaeChemis después de casi cinco años de trabajo que, como se puede apreciar, ha dado claramente sus frutos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda y colaboración de las numerosas instituciones, grupos de investigación, investigadores y estudiantes que han hecho posible la realización del proyecto de ArchaeChemis en Sagunto.

## BIBLIOGRAFÍA

- La Vanguardia (27/02/2015).  
<https://www.lavanguardia.com/local/valencia/20150227/54427721762/un-proyecto-pionero-analiza-las-murallas-del-castillo-de-sagunto.html>
- Gallelo G., Ramacciotti M., Lezzerini M., Hernández E., Calvo M., Morales A., Pastor A., de la Guardia M. (2017). "Indirect chronology method employing rare earth elements to identify Sagunto Castle mortar construction periods". *Microchem. J.* 132, pp. 251 - 261.
- Goy J.L., Gutiérrez M., Pedraza J., Vegas R., Zazo C. (1972). "Mapa geológico de la Hoja nº 668 (Sagunto), Mapa Geológico de España E. 1:50.000, Segunda Serie (MAGNA) (1ª ed.)". *Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid.
- Gutiérrez García-M A. (2011). "The exploitation of local stone in Roman times: the case of north-eastern Spain". *World Archaeol.* 43, pp. 318-341.
- Karydas A.G. (2007). "Application of a portable XRF spectrometer for the non-invasive analysis of museum metal artefacts". *Ann. Chim.* 97, pp. 419-432.
- Ramacciotti M., Gallelo G., Aranegui Gascó C., Hernández E., Pastor A. (2020a). "Análisis químicos de los sillares de arenisca del Castillo de Sagunto (Sagunto, Valencia)". *APL* 33 (Aceptado).
- Ramacciotti M., Gallelo G., Navarro-Martos D., Doménech-Carbó A., Roldán C., Hernández E., Garrigues S., Pastor A. (2020b). "An innovative multi-analytical approach based on spectroscopic and electrochemical techniques to study a complex Roman amphorae collection". *Appl. Clay Sci.* 198 (Aceptado).
- Ramacciotti M., Rubio S., Gallelo G., Lezzerini M., Raneri S., Hernández E., Calvo M., Columbu S., Morales A., Pastor A., de la Guardia M. (2019). "Chemical and mineralogical analyses on stones from Sagunto Castle (Spain)". *J. Archaeol. Sci. Rep.* 24, pp. 931 - 938.
- Roldán García C., Vives-Ferrándiz Sánchez J. (2018). "A compositional analysis by energy dispersive X-ray fluorescence of Iberian copper-alloy votive figurines from southern Spain (fourth-third centuries BC) X-Ray". *Spectrom.* 47, pp. 441-449.
- Rubio-Barberá S., Fragoso J., Gallelo G., Arasa F., Lezzerini M., Hernández E., Pastor A., de la Guardia M. (2019). "Analysis of Sagunto Ibero-Roman votive bronze statuettes by portable X-ray fluorescence". *Radiat. Phys. Chem.* 159, pp. 17-24.

