



LA RECUPERACIÓN DE LOS PUNZONES DE RÚBRICA DE LA TERRA SIGILLATA HISPÁNICA DEL ALFAR ROMANO DE ISTURGI A PARTIR DE SU DIGITALIZACIÓN, RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D

THE RECOVERY OF THE TERRA SIGILLATA SEALS FROM THE ROMAN CERAMIC WORKSHOP OF ISTURGI THROUGH THEIR DIGITALIZATION, RECONSTRUCTION AND 3D PRINTING

Alexis Maldonado Ruiz^{a,*}, Alberto Dorado Alejos^a, María Isabel Fernández-García^a

^a Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada, Facultad de Filosofía y Letras s/n,

18071 Granada, España. amaru@ugr.es; doradoalejos@ugr.es; mifernan@ugr.es

Lo más destacado:

- Los punzones y marcas de entalle empleados para rubricar la *terra sigillata* son elementos difíciles de localizar en el contexto arqueológico.
- Se destaca el potencial de los dispositivos 3D de bajo coste, para elaborar reconstrucciones de elementos que no se suelen conservar en el registro arqueológico.
- Desarrollo de hipótesis reconstructivas de los punzones y marcas de entalle empleados en el barrio alfarero de *Isturgi* (Los Villares de Andújar, Jaén).

Abstract:

Terra sigillata is one of the most important and well-known ceramic types of the Roman Empire. These tableware productions began to become popular in the 1st century AD, characterized by the habitual presence of what is known as *sigillum*, a kind of stamped mark that identified the pottery workshop (*‘officina’*) where they were produced. Currently, the information given by the stamps on vessels becomes one of the main sources for the social and economic structure reconstruction of *terra sigillata* manufacturing.

In the case of the *terra sigillata* produced in the Iberian Peninsula, both the smooth-walled and the decorated vessels are distinguished by habitually incorporating this signature, which was made using a stamp-punch. In smooth-walled vessels, the signature is usually located on the inner bottom of the container; in the case of decorated ones, which used to be produced using negative ceramic moulds, the dynamics can be somewhat more complex. As a general fact, and unlike the ceramic itself, which becomes a very common object in the archaeological context, the instruments with which these items used to be marked are very difficult to find. Indeed, they are very rare elements in archaeological excavations or museum collections. An example of this dynamic is the pottery district of *Isturgi* (Los Villares de Andújar, Jaén, Spain), which became an important producer of *terra sigillata* around the 1st and 2nd centuries AD. In this large potter area, despite numerous systematic excavation campaigns since the early 1970s, no original stamp-punch has been recovered yet.

In this regard, the strong development of tools for digitization, analysis, virtual reconstruction and new printing devices has brought important advantages to study archaeological heritage in general and to do ceramic research in particular. Although most of these technologies are already well established in our discipline, they continue to generate new results of great scientific interest. However, to fully exploit their potential, these technologies should not be used in isolation, but must be combined in synergistic methodological flows that we can carry out thanks to combining a variety of computer software. Only in this way, we can effectively recreate elements and objects that, due to their intrinsic value or to the fragility of their nature, do not usually appear in the archaeological record.

This work proposes a new methodological workflow to obtain data that would allow the coherent reconstruction of the appearance and operation of these fragile instruments. To achieve this objective, we made a selection of nine smooth-walled vessels of *terra sigillata* isturgitana in which the potters had recorded their work by means of epigraphic and anepigraphic marks. Various computerized procedures were applied in a systematic way to each of these selected case studies. First, Structure from Motion (SfM) photogrammetry for digitizing these sigilla. Second, computational photography methods such as Virtual Reflectance Transformation Imaging (V-RTI) or raster images such as Digital Elevation Maps (DEM) to improve the visualization of the most deteriorated signatures. Third, digital modelling and sculpting to generate reliable reconstructive hypotheses of a digital nature. Finally, we used Fused Deposition Modelling (FDM), the most common 3D printing method, to materialize these results into high-resolution and low-cost polylactic acid (PLA) replicas.

* Corresponding author: Alexis Maldonado Ruiz, amaru@ugr.es



Thanks to this workflow described above, we seek the generation of new data that will be useful for the archaeological discipline, as well as directly beneficial for society in general. Jointly, the technologies of digitization and rapid prototyping have produced extremely effective results as tools for making archaeological heritage truly accessible to everyone, regardless of the situation, needs or geographic location.

Keywords: *terra sigillata*; SfM photogrammetry; virtual archaeology; virtual reflectance transformation imaging (V-RTI); 3D modelling, 3D printing

Resumen:

La *terra sigillata* es, sin duda alguna, uno de los tipos cerámicos más importantes y conocidos de un incipiente imperio romano. Este tipo de producciones cerámicas están caracterizadas por la presencia habitual de lo que se conoce como *sigillum*, una suerte de marca que identificaba al alfar u *officina* donde eran producidas. A diferencia de la propia cerámica, un objeto muy habitual en el contexto arqueológico, los instrumentos con los que se solían marcar dichas producciones resultan muy complicados de localizar, convirtiéndose en elementos muy poco frecuentes en las excavaciones arqueológicas o en los fondos de museos. Un claro ejemplo de esta dinámica es el barrio alfarero de *Isturgi* (Los Villares de Andújar, Jaén, España), donde tras numerosas campañas de excavación aún no se ha recuperado ningún punzón original. A este respecto, el fuerte desarrollo de las herramientas de digitalización, análisis, reconstrucción virtual y los nuevos dispositivos de impresión ha supuesto importantes beneficios para al estudio del patrimonio arqueológico en general. Con el objetivo de aprovechar al máximo su potencial, estas técnicas se suelen combinar en flujos metodológicos sinérgicos es posible materializar a partir del uso conjunto de varios softwares informáticos. Gracias a ello, se pueden recrear de forma efectiva elementos y objetos que, por su valor o naturaleza, no suelen aparecer de forma habitual en el registro arqueológico. En el presente trabajo se propone, por tanto, un nuevo flujo metodológico que combina herramientas ya asentadas como la fotogrametría *Structure from Motion*, los métodos de fotografía computacional como la *Reflectance Transformation Imaging* virtual (V-RTI), el modelado 3D o la impresión 3D. Todo ello, con un claro objetivo: recrear los punzones y marcas de entalle empleados para rubricar la vajilla fina de mesa procedente del yacimiento romano de Los Villares de Andújar (Jaén).

Palabras clave: *terra sigillata*; fotogrametría SfM; arqueología virtual; RTI virtual (V-RTI); modelado 3D; impresión 3D

1. Introducción

Con frecuencia solemos olvidar que, tras la fabricación de un objeto, ya sea una artesanía o una obra de arte, existe un complejo entramado no solo material, sino también cultural y humano capaz de hacerlo posible. A lo largo de la historia, la necesidad de identidad, repercusión y reconocimiento han favorecido la aparición de formas, más o menos complejas, de evidenciar la autoría de determinadas manufacturas. Esta realidad, probablemente más antigua de lo que pensamos, tiene una clara trascendencia en época romana. A pesar de aquello que indicaba Cicerón en *De Officiis* (Cic. 1. 42. 150): Todos los artesanos realizan también un arte servil, porque un taller no tiene nada digno de un hombre libre, la producción artesanal y su comercialización a pequeña o gran escala, se erigían como un pilar básico en la economía romana (Sáenz, 2016). El artesano, aunque a veces no era reconocido, supo emplear instrumentos y estrategias para dotar a sus obras o producciones de una seña de identidad propia.

En este punto, cuando hablamos de vajilla fina de mesa romana es inevitable pensar en la *terra sigillata*. Este tipo de producción cerámica, identificada habitualmente por la presencia de una rúbrica o *sigillum*, comenzó a generalizarse en gran parte del territorio romano a partir del siglo I d.C. con distintas variedades regionales. A pesar de que los restos de *terra sigillata* suelen encontrarse con facilidad en el contexto arqueológico, no resulta tan habitual localizar las herramientas con las que los artesanos que las producían solían firmarlas.

En el caso concreto del yacimiento de Los Villares de Andújar sabemos que este se configuró como una importante zona productiva en torno a los siglos I y II d.C. Un auténtico barrio artesano donde se compatibilizaba la elaboración de diversos tipos de cerámica, pero que terminará centrándose en la producción de *terra sigillata* hispánica (Fernández-García, 1999; Fernández-García, 2013a).

En el caso de la *terra sigillata* hispánica, tanto los vasos lisos como los decorados suelen distinguirse por incorporar habitualmente una especie rúbrica o firma que se realizaba usando una suerte de tampón-punzón. Mientras que en los vasos lisos esta rúbrica suele ubicarse en el fondo interno del recipiente y hace alusión a la *officina* o al maestro alfarero encargado de la fabricación del mismo, en el caso de los vasos decorados, los cuales solían producirse mediante moldes cerámicos en negativo, esta dinámica puede resultar algo más compleja. En efecto, estos recipientes elaborados mediante molde y torno presentan en determinadas ocasiones no una, sino dos firmas diferentes: la rúbrica del maestro alfarero que solía ir intradecorativamente (Fernández-García, 1991-92; Fernández-García, Ruiz & Ruiz, 2007; Fernández-García & Serrano, 2013; Serrano, 2016) y una rúbrica adicional que refiere, en este caso, al artesano encargado de producir el molde. Al contrario de lo que ocurría con la firma del maestro alfarero, esta segunda rúbrica solía disponerse en zonas del molde como el fondo interno, la pared externa o en zonas alejadas de la decoración, en las que, una vez confeccionado el vaso, esta no fuese muy visible (Fernández-García, 1999).

Los motivos que llevaban a los maestros alfareros a marcar sus producciones han sido objeto de debate que deriva del estudio de la *terra sigillata*. Por un lado, nos encontramos a autores como Dragendorff (1979) quienes afirman que este tipo de marcas servían para identificar los productos que salían de un mismo alfar y poder estimar así el volumen de producción de este tipo de complejos. Por otro lado, autores como Goudineau (1968) o Pucci (1993) consideran el proceso de entalle o rubrica de las piezas cerámicas una suerte de sistema de contabilidad. Asimismo, Riccioni (1972) o Jacob y Leredde (1982) afirman que esta podría ser una forma sencilla de identificar las producciones en grandes hornos de uso comunitario donde diversos alfareros horneaban sus mercancías de forma conjunta.

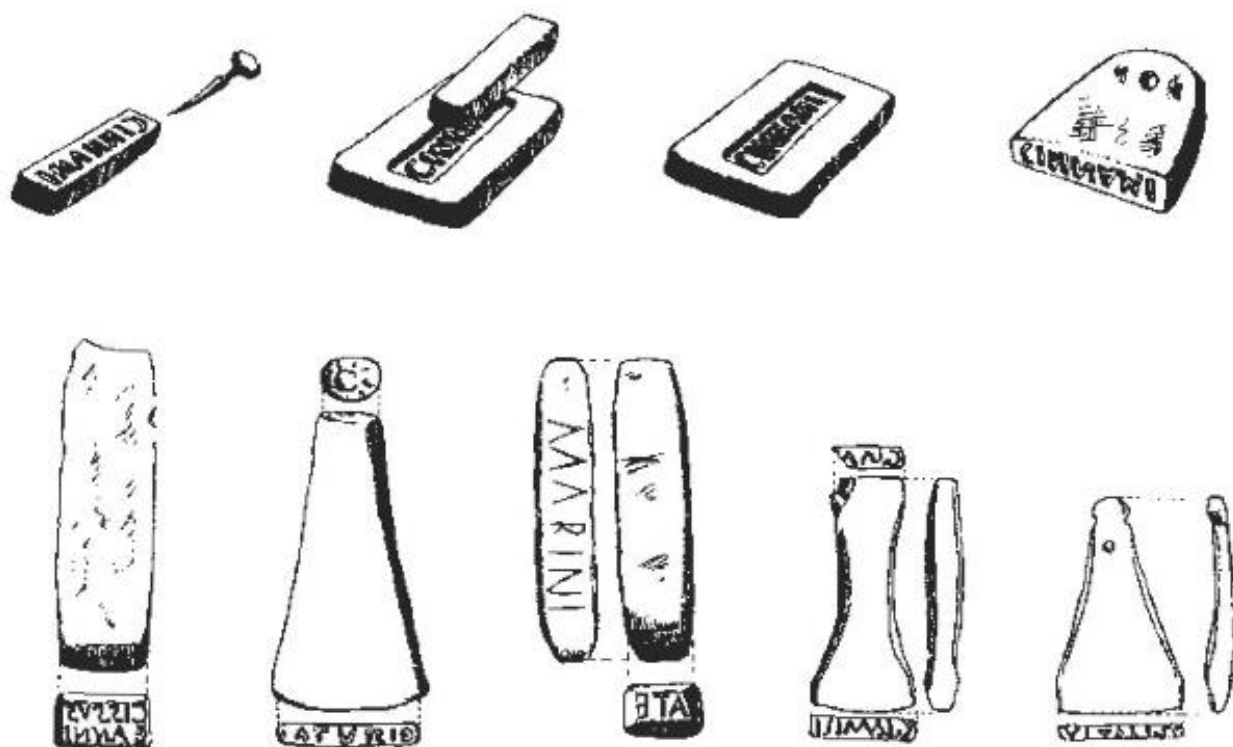


Figura 1: Representación hipotética de la posible estructura de los punzones empleados para rubricar la terra sigillata (Fernández, 1999: 39; Hofmann, 1971).

En el caso de las producciones cerámicas isturgitanas se han evidenciado dos tipos de estas marcas: epigráficas y anepígrafas. En estas últimas se incluyen, entre otras, las llamadas marcas de entalle (Sotomayor, 1988) que, a diferencia de lo que ocurre con las marcas epigráficas (Fernández-García, 1998; Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 2015; Fernández-García, 2019), las marcas de entalle anepígrafas no son tan habituales (Fernández-García, 1999) y resulta infrecuente localizarlas en vasos de *terra sigillata*.

Así pues, resulta interesante mencionar que durante el proceso de elaboración de estos vasos intervienen toda una serie de herramientas a partir de las cuales el alfarero o el productor de moldes firmaban sus producciones. Nos referiremos a los punzones, empleados bien para plasmar sobre el fondo interno de los ejemplares lisos, la marca del fabricante o bien para componer la sintaxis ornamental de los moldes (Fig. 1). Desgraciadamente, en el caso concreto del barrio suburbano de *Isturgi* a día de hoy aún no se ha recuperado ningún punzón. Esta situación parece confirmar la naturaleza frágil, así como el alto valor intrínseco que estos instrumentos tenían dentro del proceso productivo de la *terra sigillata*. Por este motivo, se utilizarían y conservarían con especial cuidado, durante mucho tiempo y, muy probablemente, celosamente custodiados por los propios artesanos en sus dependencias personales (Vertet, 1976).

2. Metodología

Motivados por esta problemática, decidimos elaborar un flujo de trabajo a través del cual obtener datos que permitieran la reconstrucción coherente del aspecto (fig. 2a) y el funcionamiento de estas herramientas (Fig. 2b). Para ello, sobre una selección de nueve vasos de *terra*

sigillata isturgitana en los que los alfareros habían dejado constancia de su trabajo mediante marcas epigráficas o anepígrafas (Fernández-García, 1999; Hofmann, 1971; Pucci, 1993; Vertet, 1976), se decidieron aplicar varias herramientas y programas informáticos de forma conjunta. Con todo, el primer paso para materializar nuestras hipótesis sobre los punzones pasaba por la documentación tridimensional (3D) de las piezas en las que se localizan las diferentes rúbricas. Los *sigilla*, como así se denomina a esta marca fruto de la incisión del punzón sobre la arcilla sin cocer de los vasos lisos de *terra sigillata*, aparece en varios fragmentos recuperados durante las distintas excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. Una vez seleccionadas las piezas comenzaba el proceso de digitalización. Para ello, decidimos emplear la fotogrametría *Structure from Motion* (SfM), una técnica que ha demostrado con creces su potencial, siendo incluso superior a otras herramientas de digitalización como el láser de luz estructurada (Benavides, 2017; Maldonado, 2020). Dado que ya existen en literatura científica suficientes obras que desglosan pormenorizadamente los entresijos de la documentación mediante fotogrametría convergente (Antón, Medjdoub, Shrahily & Moyano, 2018; Barreau et al., 2014; Benavides, 2017; Boyd et al., 2021; Maldonado & Fernández-García, 2020a, 2020b; Marín-Buzón et al., 2021; Remondino, 2011, Remondino, Nocerino, Toschi & Menna 2017), nos centraremos en aportar los datos más relevantes del sistema de captura fotográfica empleado. En este sentido, buscábamos un sistema de trabajo que nos permitiese aislar, con una precisión milimétrica, las marcas grabadas en estos productos cerámicos, algunas de ellas bastante pequeñas, y obtener de ellas modelos fotogramétricos de alta resolución. Para ello fue necesario combinar fotografías en detalle con otras generales de aquellas piezas seleccionadas,



Figura 2: a) Terra sigillata hispánica AJ9089 de Los Villares de Andújar (Jaén, España) con detalle de la rúbrica; b) Hipótesis reconstructiva del punzón que pudo usarse para rubricar la pieza. La recreación fue llevada a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico realizado sobre la pieza real siguiendo la dinámica metodológica descrita en este trabajo.

aproximadamente unas 100 fotografías por pieza, siendo unas 30 de ellas fotografías en detalle del *sigillum*. Gracias a esta estrategia, obtuvimos dos modelos 3D que procesamos por separado en dos bloques independientes

y se combinaron posteriormente en el software fotogramétrico elegido, creando un objeto completo y exento de cada pieza (Fig. 3a), pero potenciando la geometría digital de la zona de la rúbrica (Fig. 3b).

LA RECUPERACIÓN DE LOS PUNZONES DE RÚBRICA DE LA TERRA SIGILLATA HISPÁNICA DEL ALFAR ROMANO DE ISTURGI A PARTIR DE SU DIGITALIZACIÓN, RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D

A pesar de nuestros esfuerzos por obtener modelos de alta resolución, la lectura e interpretación de algunos *sigilla* fue a veces limitada como consecuencia del deterioro que presentaban algunos de los fragmentos cerámicos, motivo por el que se decidió emplear de forma adicional la técnica *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual (V-RTI) para, a partir de los modelos previamente digitalizados mediante fotogrametría, fuera más sencilla y precisa la lectura de los *sigilla* de cada una de las *terrae sigillatae isturgitanas*.

Es un hecho que la realización de los *Polynomial Texture Mapping* (PTM) en entornos completamente digitales supone una automatización y, por ende, una considerable reducción del tiempo y esfuerzo invertido en comparación con la técnica originalmente ideada por Tom Malzbender y Dan Gelb para Hewlett-Packard a inicios del siglo XXI (Malzbender, Gelb & Wolters, 2001).

En este sentido, el V-RTI permite superar las limitaciones físicas derivadas de la metodología tradicional de esta técnica, al tiempo que su aplicación aumenta considerablemente las posibilidades de análisis y

visualización de un modelo fotogramétrico bruto con una mínima inversión de tiempo adicional (Caine, Maggen & Altaratz, 2019; Carrero-Pazos, Vázquez-Martínez & Vilas-Estévez, 2016; Maldonado, 2020; Torregrosa-Fuentes, Spairani, Huesca, Cuevas & Torregrosa-Fuentes, 2018).

En esta ocasión, la combinación de esta técnica junto con otras como el modelo digital o la propia impresión 3D haría posible además una reconstrucción física mucho más verosímil del punzón con el que se rubricaban este tipo de cerámicas.

Durante la realización del V-RTI, y con el objeto de reducir la carga del hardware y mejorar la calidad del producto final, es recomendable restringir el área que queremos analizar a la zona de la pieza que nos interesa; en este caso, al *sigillum* (Fig. 4a). Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante cortes virtuales en Blender, en el propio software fotogramétrico utilizado para generar el modelo o, de ser necesario, combinando ambas plataformas.

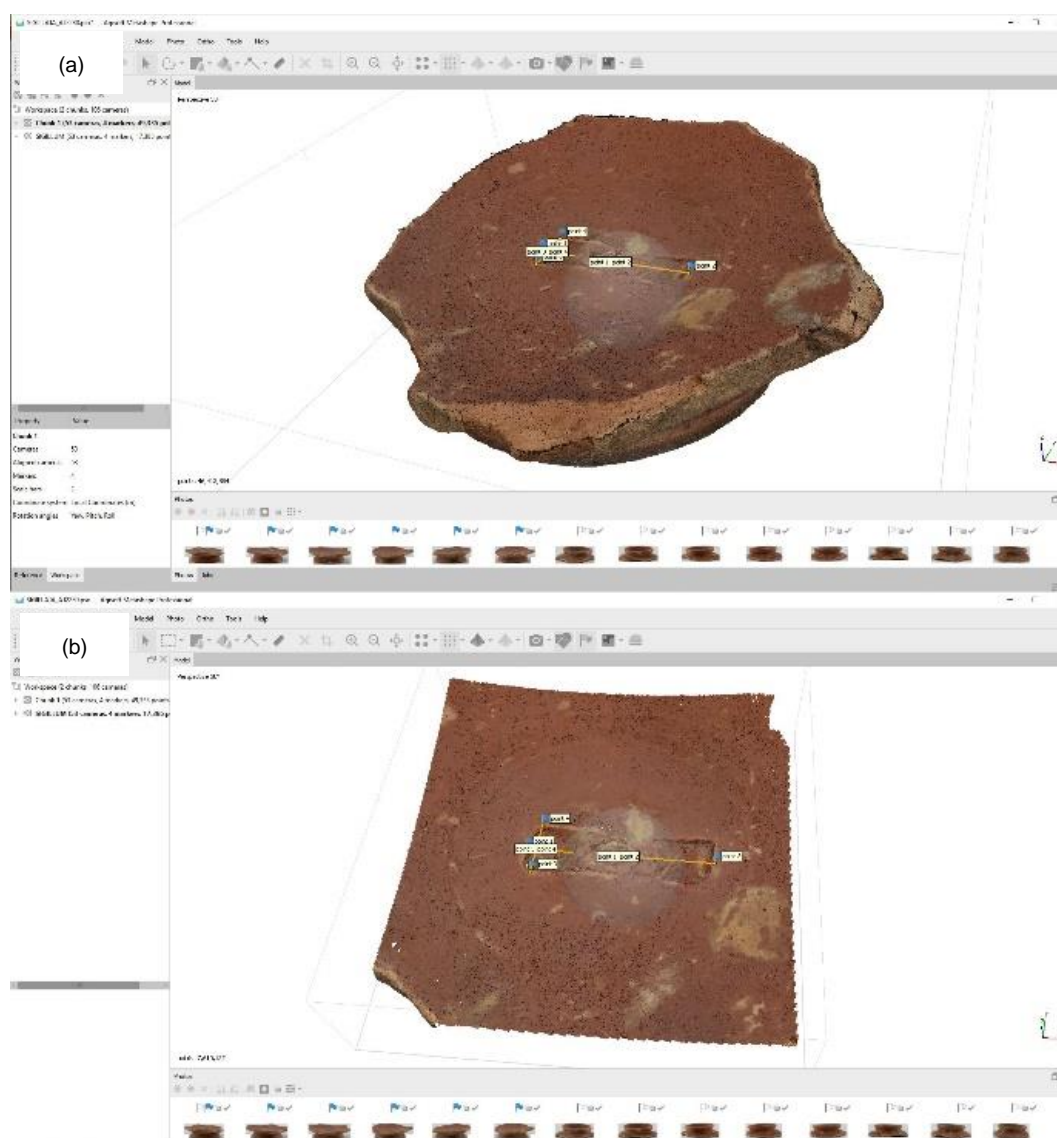


Figura 3: Modelo de alta resolución geométrica a partir de la combinación de dos chunks o bloques procesados independientemente en Agisoft Metashape: a) modelo del fragmento AJ 2230; b) detalle del sigillum recortado en Agisoft a partir del modelo fotogramétrico.

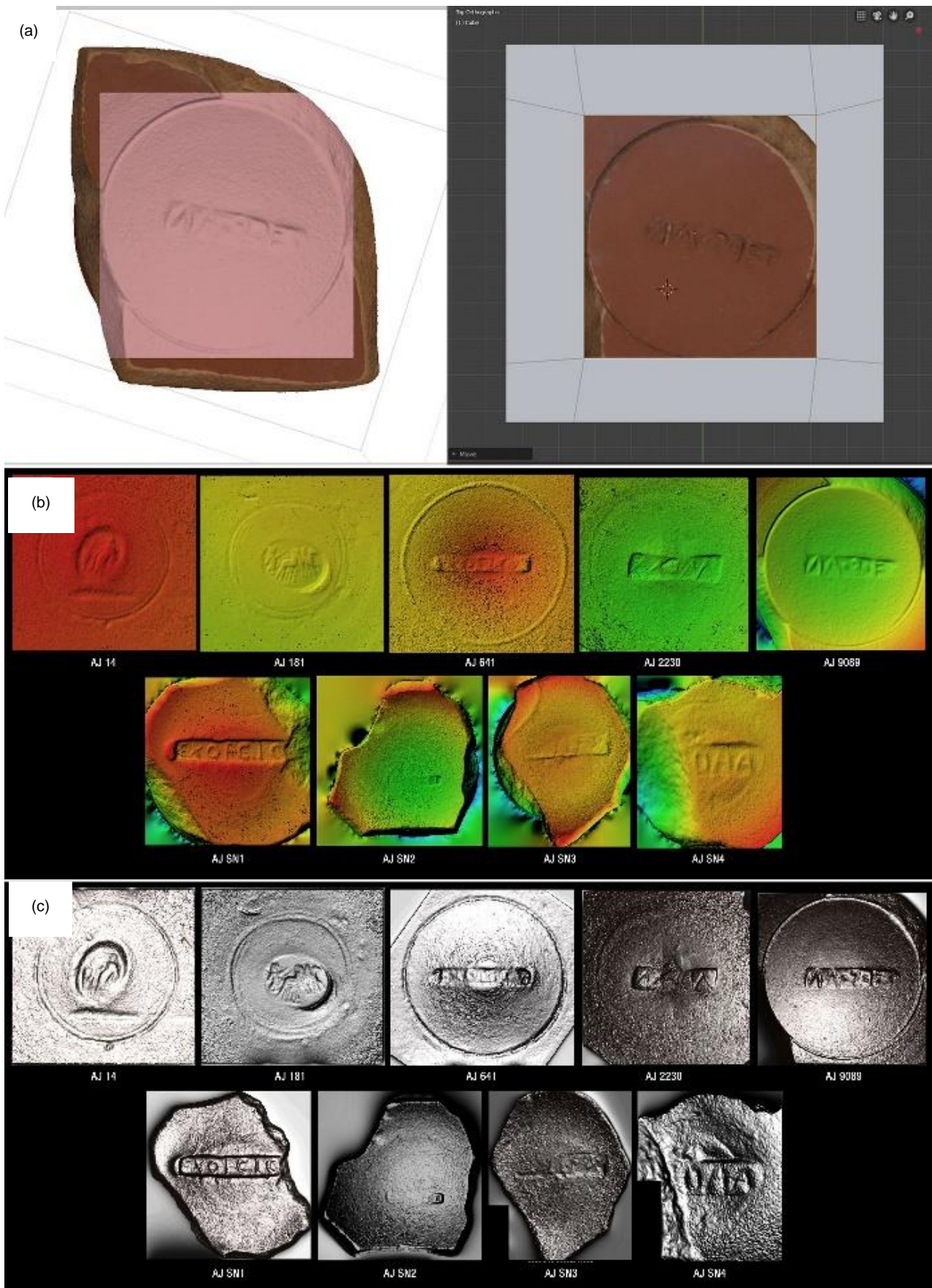


Figura 4: Mejora de la visualización de los sigilla: a) Segmentación y aislamiento de la zona de la rúbrica de la terra sigillata hispánica AJ9089 donde posteriormente se aplicará el V-RTI. A la izquierda el proceso llevado a cabo en Agisoft Metashape. A la derecha el mismo proceso llevado a cabo en Blender; b) Montaje con las capturas obtenidas en RTIviewer sobre el modelo de PTM de los distintos fragmentos de terra sigillata hispánica procedentes de Los Villares (Andújar, Jaén, España); c) DEM a partir de los modelos fotogramétricos de los fragmentos de terra sigillata hispánica procedentes de Los Villares (Andújar, Jaén, España).

LA RECUPERACIÓN DE LOS PUNZONES DE RÚBRICA DE LA TERRA SIGILLATA HISPÁNICA DEL ALFAR ROMANO DE ISTURGI A PARTIR DE SU DIGITALIZACIÓN, RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D

Con el modelo fotogramétrico de cada fragmento de *terra sigillata* importado en Blender (Roosendaal, 1998) y una vez aislada la zona que nos interesa, se ejecuta una línea de comandos desarrollada en lenguaje Python y capaz de iniciar un proceso de captura automático de las distintas imágenes necesarias para que, posteriormente, podamos generar el modelo de re-iluminación interactivo en RTIBuilder. Este proceso se llevó a cabo de forma sistemática sobre cada una de las piezas, independientemente del grado de deterioro de sus rúbricas (Fig. 4c).

Paralelamente a la elaboración de los V-RTI, sobre cada uno de los modelos fotogramétricos se elaboró un MDE (Fig.4b). Esta es otra forma de análisis de los modelos digitales que puede obtenerse de forma sencilla y rápida en el propio software fotogramétrico. Una vez creado y escalado el modelo fotogramétrico, solo se requieren de unos segundos para obtener este mapa de elevaciones. A pesar de su celeridad, el resultado final es más que satisfactorio y permite potenciar los detalles de la zona de la rúbrica.

Una vez implementadas estas técnicas de mejora de la visualización y tras importar a Blender v. 2.92 el modelo fotogramétrico de las *terrae sigillatae*, comienza la parte más manual del proceso. El primer paso es crear un plano digital que haya sido previamente subdividido hasta alcanzar una resolución suficiente. Hecho esto, solo tenemos que localizar la zona de la que se necesita obtener el calco geométrico. En nuestro caso, el área que ocupa la rúbrica en cada uno de los fragmentos de *terra sigillata* digitalizados (Fig. 5a). Colocamos entonces el plano sobre ella y aplicamos un modificador interno de Blender denominado *shrinkwrap*. Con ella se unirá de forma digital el plano sobre la rúbrica (Fig. 5b), obteniendo como resultado una malla geométrica digital, en negativo y perfectamente exacta de la marca de alfarero presente en la pieza. En este punto, resulta oportuno aplicar una corrección pues sabemos que el volumen de las arcillas se reduce cuando esta es sometida al proceso de cocción. Es por este motivo, que el tamaño de la rúbrica entallada en los recipientes

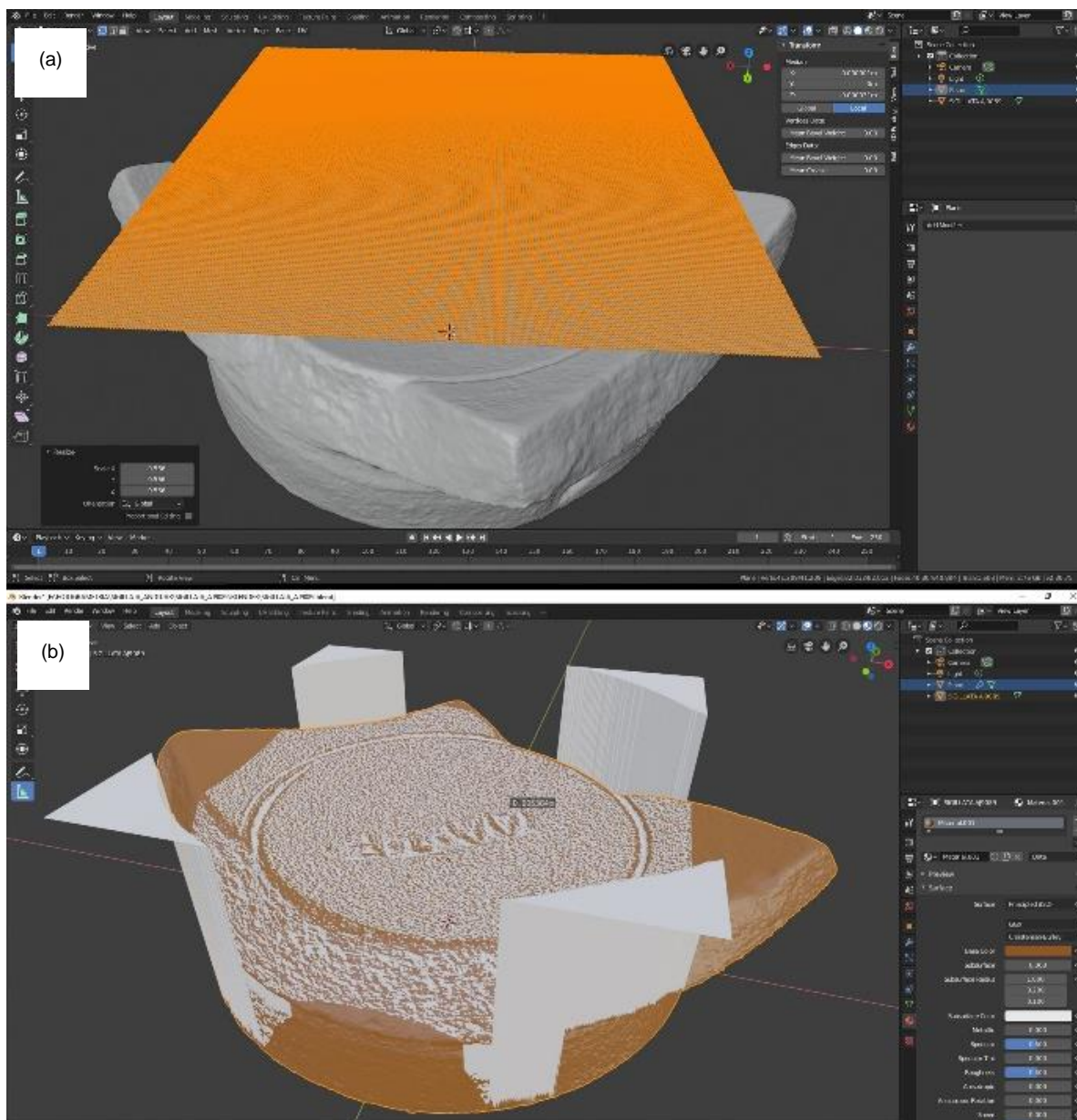


Figura 5: a) Creación de un plano de alta resolución geométrica; b) Aplicación de la herramienta “*shrinkwrap*” y adhesión del plano de alta resolución sobre la rúbrica de la terra sigillata Aj9089.

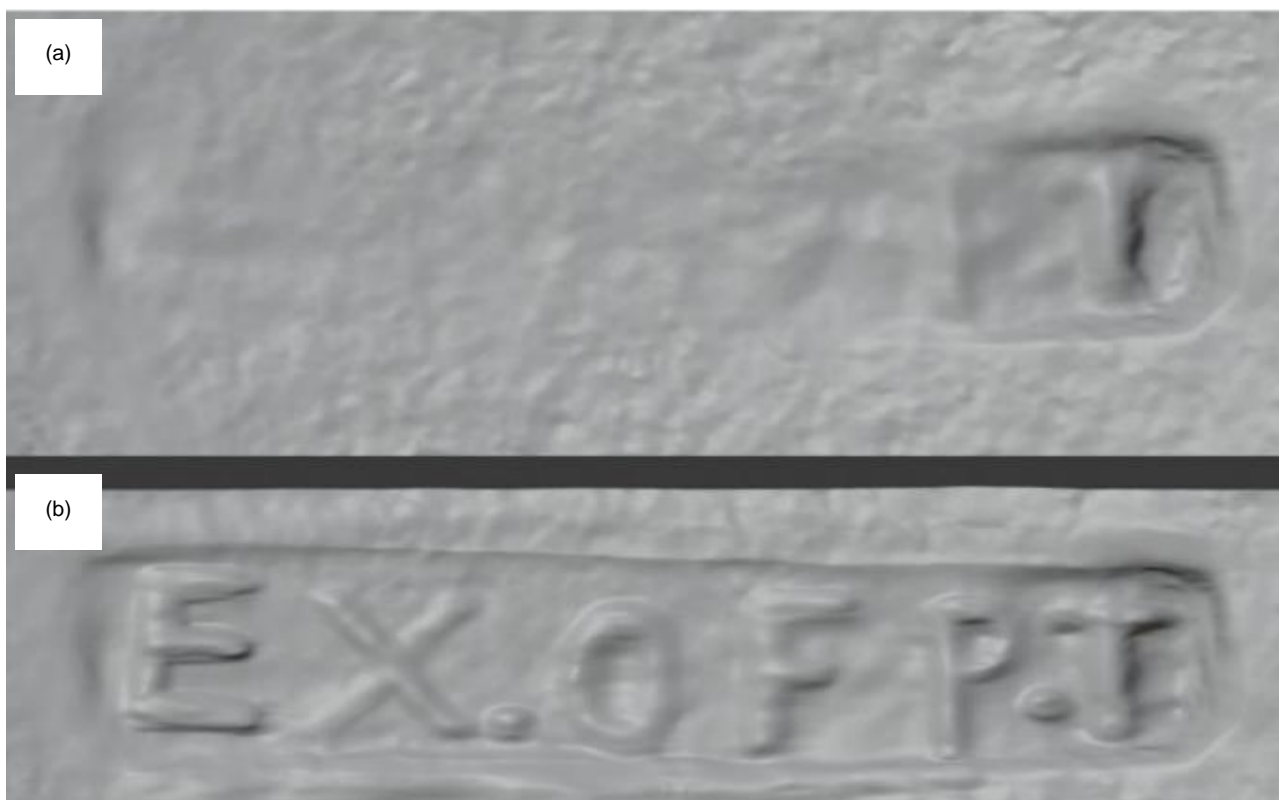


Figura 6: a) Calco obtenido del sigillum de la pieza S/N2 a partir del modelo fotogramétrico; b) Calco retocado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Macías, 2013; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016).

cerámicos cocidos es ligeramente inferior al que presentaba en la pieza sin cocer. Y es que, sabemos que los *sigilla* se entallaban en la arcilla aún sin cocer, por lo que el punzón que se utilizó presentaría también un tamaño algo superior a la superficie sobre la que hemos obtenido el calco digital.

Con todo esto en mente, solo necesitamos aplicar las correcciones pertinentes y ajustar de forma más precisa las dimensiones reales de estos punzones. Si bien es cierto, sería necesario además calcular los cambios que se producen en las arcillas iniciales —a partir de las cuales se estarían realizando estos punzones isturgitanos— como consecuencia de su exposición al fuego. En este sentido, no son pocos los trabajos que tratan este tema a partir del Análisis Térmico Diferencial (ATD), Termogravimetría (TG), Termogravimetría Diferencial (DTG) o la propia dilatometría con el fin de registrar aspectos como los cambios que se producen en los minerales o la masa y el volumen de la cerámica (Stucki, Bish & Mumpton, 1990). Distintos trabajos experimentales presentados sobre arcillas destinadas a la producción cerámica (Escardino, Enrique, & Ramos, 1977; Escardino, Gastaldo, & Amorós, 1980) muestran el papel que juegan factores como la pérdida de humedad y/o agua absorbida, la descomposición de hidróxidos, la deshidroxilación del mineral arcilloso, la descomposición de carbonatos o la pérdida de elementos volátiles en la pérdida del volumen total del artefacto. Por tanto, se modifica su forma inicial tal y como fue concebida por el artesano. Así, por ejemplo, sabemos que entre los 450 y 550°C se observa, en el caso del caolín, la pérdida de los iones OH que son liberados en forma de vapor, lo que genera el amorfo metacaolín (Santos, Malagón & Córdoba, 2011), lo que supone consecuentemente la pérdida de un porcentaje del volumen inicial. En resumen, estas variaciones se

deberán a factores como la propia composición inicial de la arcilla y la temperatura que se alcanza en el horno y, aunque actualmente ya conozcamos las composiciones químicas y mineralógicas de algunas de las producciones del sitio (Ruiz, 2012; Serrano, 2016; Serrano, Compañá & Fernández-García, 2016), el porcentaje exacto de las mismas sólo podría estimarse a partir de trabajos experimentales, por lo que decidimos aplicar un factor de aumento moderado de un 10% en el tamaño final de los punzones reconstruidos.

Obviamente la pieza está aún incompleta, ya que solo tenemos la parte inferior del sello. Sin embargo, esta parte inferior del sello presenta los mismos desperfectos que la zona del *sigillum* del fragmento del que se extrajo. Por este motivo, haciendo uso de la información arrojada por el V-RTI y el MDE, la malla con la marca en negativo se somete a un primer proceso de modelado digital con el objetivo de reestructurar o reconstruir aquellas partes de la rúbrica más deterioradas o incluso destruidas (Fig. 6).

Posteriormente y basándonos en los modelos de punzones epigráficos ya esbozados por Hofmann (1971) y en algunos paralelos arqueológicos de anillos de entalle anepigráficos recogidos por Barrero Martín (2018) formulamos diferentes propuestas reconstructivas de cómo podría haber sido la base, el mango o, en definitiva, la herramienta con la que se imprimía la rúbrica sobre la pieza de *sigillata* original (Fig. 7). Desafortunadamente en el caso de Los Villares de Andújar no se ha encontrado evidencia física total o parcial de ninguno de estos instrumentos de entalle. Por este motivo, resulta complejo establecer de forma fehaciente la forma original de los sellos empleados en este complejo alfarero, especialmente de la parte del

LA RECUPERACIÓN DE LOS PUNZONES DE RÚBRICA DE LA TERRA SIGILLATA HISPÁNICA DEL ALFAR ROMANO DE ISTURGI A PARTIR DE SU DIGITALIZACIÓN, RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D

enmangue. Por tanto, salvo la parte de la rúbrica propiamente dicha, la cual fue obtenida directamente del *sigillum* presente en el recipiente digitalizado, el resto de los cuerpos de los punzones son hipótesis reconstructivas desarrolladas para esclarecer la forma y el uso específico que podrían haber tenido este tipo de herramientas (Fig. 8).

El último paso del flujo de trabajo consistió en la preparación de los modelos 3D de los punzones para su posterior impresión 3D. A este respecto, y desde hace también algún tiempo, es cada vez más frecuente también el uso de las denominadas como tecnologías de fabricación por adición. En este marco, nos referimos a la impresión 3D como una de las técnicas que engloba la amplia miscelánea que abarca la fabricación aditiva. El rápido crecimiento y democratización de la impresión 3D se debe principalmente a la constante mejora de hardware y software favorecida en parte por la dinámica de código abierto que ha rodeado siempre este tipo de tecnologías (Zennaro, 2013). En efecto, a nivel usuario las impresoras *Fused Deposition Modeling* (FDM, modelado por deposición fundida) son cada vez más accesibles y sencillas de usar, aunque las nuevas impresoras 3D estereolitográficas (SLA), de Sinterización

Selectiva por Láser (SLS) o de FDM, como la empleada en este trabajo, permiten materializar casi cualquier elemento diseñado digitalmente. A pesar de esta innegable democratización, la preparación de modelos impresos de alta calidad requiere aún de un proceso complejo y de cierta especialización técnica para procesar previamente los modelos digitales mediante softwares fotogramétricos, de modelado 3D, retopología y, finalmente, de laminado (Canessa, Fonda & Zennaro, 2013; Maldonado, Rouco & Martínez, 2021).

En lo que respecta al material empleado para la rematerialización de los modelos digitales, a día de hoy son cada vez más variados los materiales de impresión compatibles con este tipo de dispositivos (De La Torre-Cantero, Saorín, Meier, Melián-Díaz & Alemán, 2015; Marson, Diaz-Nocera, Real & Palma, 2016; Perrot, Rangeard & Pierre, 2016; Rengier et al., 2010). No obstante, los más económicos y con los que se suele trabajar habitualmente, siguen siendo los plásticos: el Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), Alcohol Polivinilo (PVA), Policarbonatos (PC), Polietileno de alta densidad (HDPE), resinas de fotopolímero (LCD) o, como es nuestro caso, el ácido poliláctico (PLA).



Figura 7: Hipótesis reconstructivas realizadas en Blender de los punzones y marcas de entalle empleadas para la rúbrica de las *terrae sigillatae* isturgitanas.

1	Imaginación	Elementos basados de forma aproximada en el contexto histórico y natural
2	Conjetura basada en estructuras similares	Representación a través de la arquitectura comparada o de elementos similares
3	Referencia textual básica	Descripción textual simple (apenas indicativa)
4	Referencia textual descriptiva	Descripción detallada de elementos (dimensiones, materiales, colores, etc.)
5	Referencia gráfica sencilla	Representaciones sencillas en dibujos, grabados o pinturas
6	Referencia gráfica pormenorizada	Representación detallada en dibujos, grabados o pinturas
7	Información arqueológica básica o planimetrías simples	Indicios arqueológicos sencillos o plantas y alzados básicos
8	Fuerte evidencia arqueológica o documental. Fotografías y plantas detalladas	Datos arqueológicos precisos. Otros documentos de relieve como fotografías o plantas pormenorizadas
9	Existente (o parcialmente existente) con modificaciones	La estructura u objeto existe en el presente de forma parcial o alterada
10	Existente conforme al original	La estructura u objeto existe en el presente conforme a como fue en el pasado

© Creative Commons



Figura 8: Diferentes grados de evidencia histórico-arqueológica (Aparicio & Figueiredo, 2016, p. 239) de la recreación digital del punzón con el que se rubricó la pieza de terra sigillata hispánica Aj9089, procedente de Los Villares de Andújar.

Para obtener un modelo impreso de calidad es necesario un procesamiento previo de los modelos 3D, bien obtenidos con fotogrametría *SfM* o directamente producto del modelado digital. El primer paso necesario es la optimización de la malla geométrica mediante retopología. Para ello, se usó de forma conjunta Instant Meshes (Jakob, Tarini, Panozzo & Sorkine-Hornung, 2015) y Blender (Roosendaal, 1998) (Fig. 9).

Una vez reestructurada la malla y perfectamente cerrado el modelo, este puede exportarse directamente desde Blender. Tras obtener el modelo digital optimizado, el paso siguiente será la preparación del mismo para su posterior impresión que, dependiendo del tamaño de la pieza, puede alargarse varios días. El primer paso es, obviamente, la conversión del modelo digital de nuestro punzón a un formato de archivo GCode (*Geometric Code*) o RS-274 que sea compatible con los dispositivos de impresión FDM (Higueras, Calero & Collado-Montero, 2021; Aura-Castro, Días-Marín, Mas-Barberà, Sánchez & Vendrell, 2021). Así, partiendo del formato *Standard Triangle Language* (.STL) exportado mediante Blender, el modelo puede laminarse a través de softwares específicos donde es posible ajustar varios parámetros básicos que determinarán la calidad de la impresión: la resolución del modelo, la temperatura, la velocidad o la resistencia de la impresión. Para esta parte del procesamiento, y a pesar de que existen varias alternativas de código abierto y comerciales, decidimos emplear el programa Ultimaker Cura v. 4.11.0 (Braam, 2017) (Fig. 10). Por su sencillez de uso y la efectividad de este software libre se convirtió en la mejor opción para preparar los modelos digitales de los punzones y poder así transformarlos en GCode y poder imprimirlos (De Lazaro, Martínez-Fernández, Rangel-Rivero & Benito-Calvo, 2021; Iglesias *et al.*, 2020).

En definitiva, el largo proceso que iniciábamos llevando a cabo la fotogrametría de la *terra sigillata*, culmina finalmente con la impresión del punzón que, cientos de años antes habría dado lugar a la rúbrica de esta. Para ello, empleamos un modelo muy sencillo de impresora 3D, una Creality Ender 3 pro de calibración manual. Una vez introducido el archivo GCode en la placa base de la impresora mediante un USB o tarjeta SD, se inicia la impresión de la pieza.

3. La recuperación de los punzones isturgitanos

El flujo de trabajo descrito ha sido aplicado sobre un conjunto de nueve piezas de *terra sigillata* hispánica procedentes del material localizado en distintas campañas arqueológicas desarrolladas en el área productiva de Los Villares de Andújar y que pasamos ahora a describir (Fig. 11):

3.1. Punzón anepigráfico AJ181

Se trata de un fragmento de *terra sigillata* hispánica digitalizado que conserva el área que corresponde a la parte de la zona de la base de un recipiente liso donde aún se conserva el *sigillum* (Fig. 11). La rúbrica anepígrafa muestra, en este caso, lo que parece ser una triga cuyo auriga porta una fusta. No obstante, no parece encajar con los entalles anepigráficos documentados hasta el momento donde se sostiene que el carro de caballos es una cuadriga (Serrano, 2016). La aplicación del sello parece no haber sido muy limpia pues se aprecia un trazado de la forma bastante irregular y corrido. Como ocurre con la pieza AJ14, este tipo de rúbricas anepigráficas hacen referencia a *officinae* de la tercera generación de alfareros de *Isturgi* que centraron su producción en las formas 15/17 y 46. Suponemos que el punzón empleado para el entalle de estas marcas pudo haber tenido la forma de un anillo con algún tipo de gema o pasta vítrea tallada en negativo y con el motivo de la rúbrica (Barrero, 2018) (Figs. 7 y 12).

3.2. Punzón anepigráfico AJ14

En este caso, la zona conservada, aunque deteriorada, corresponde al fondo interno de un recipiente liso, donde aún se conserva el trazo del entalle (Fig. 11). En este caso, nos encontramos antes una rúbrica de carácter anepígrafo donde se aprecia lo que parece ser una figura masculina que porta en cada mano un objeto difícil de precisar dado la mala conservación del entalle. A la izquierda sobre una especie de pedestal se halla una pequeña figura que parece extender los brazos portando un objeto (quizá un arco). La figura masculina recuerda las

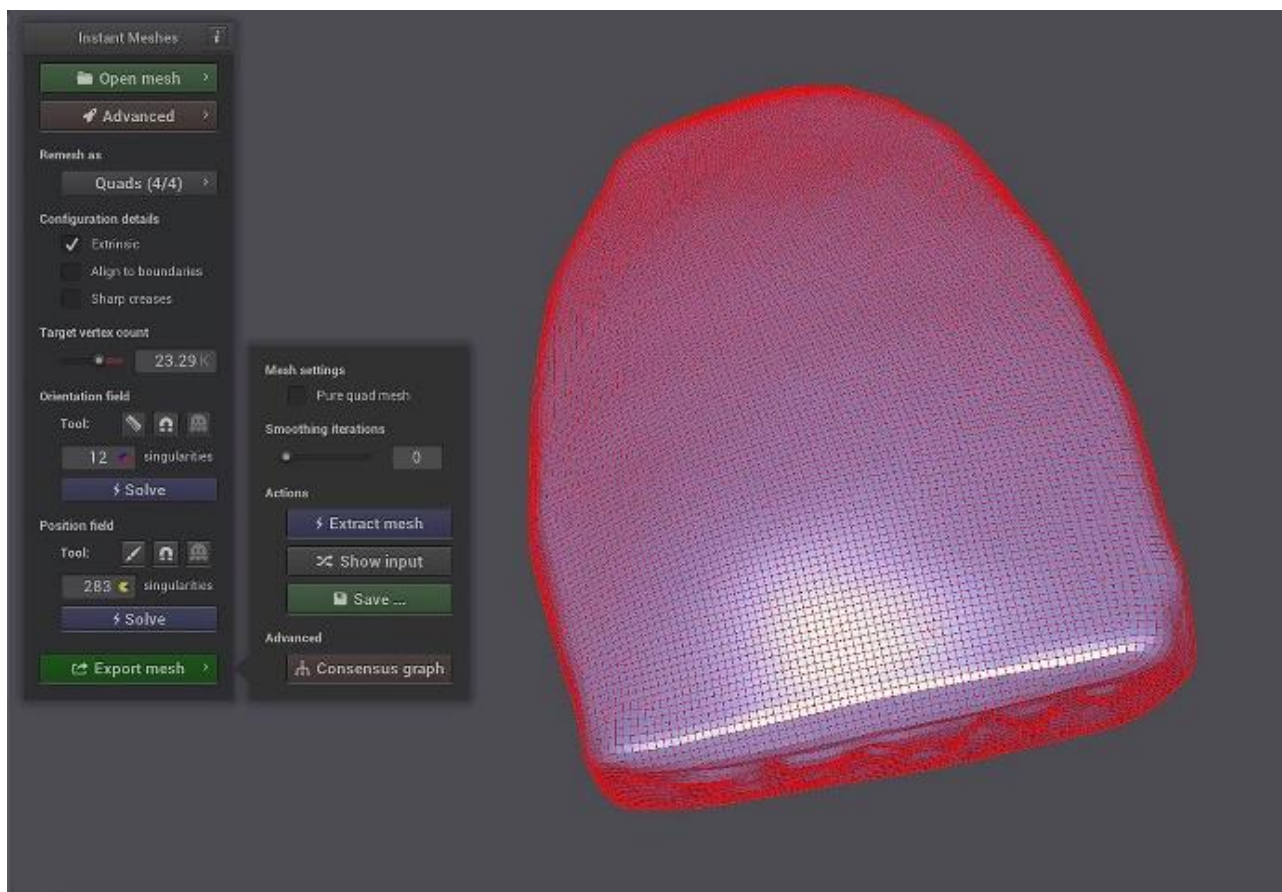


Figura 9: Optimización del sello obtenido del fragmento de terra sigillata hispánica Aj9089 en el software Instant Meshes.

representaciones de Mercurio con petaso, marsupio y clámide, aunque no podemos confirmarlo. Este tipo de rúbricas anepigráficas hacen referencia a *officinae* de la tercera generación de alfareros de *Isturgi* (Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Serrano, 2016), y se constatan, hasta el presente, sobre las formas 15/17 y 46 (Sotomayor, 1988). En este caso, el punzón empleado para el entalle de estas marcas podría haber tenido la forma de un anillo con algún tipo de gema o pasta vítrea tallada en negativo y con el motivo de la rúbrica (Barrero, 2018). Tras una consulta bibliográfica previa, recurrimos a Blender para llevar a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón (Fig. 7). Una vez reconstruido, el modelo 3D fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12). Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato GCode y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

3.3. Punzón epigráfico AJ2230

Se trata del fondo interno de un recipiente liso (Fig. 11) donde, a pesar del grado de deterioro, aún se conserva el trazo del *sigillum* (Fig. 4). La rúbrica epigráfica entallada alude a las iniciales M.S.M, en clara referencia a la *officina* de primera generación M.S.M., productora de formas lisas 8, 15/17 y 27, así como formas decoradas 29, 37, Aj. 1 (Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016). Empleando como base la documentación gráfica obtenida mediante fotogrametría, V-RTI y MDE

se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse esta pieza (Fig. 7). Una vez reconstruido, el modelo 3D fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12).

3.4. Punzón epigráfico AJ9089

El siguiente fragmento de *terra sigillata* hispánica digitalizado fue descrito originalmente con las siglas AJ9089 (Fig. 11). Al igual que ocurría en el caso anterior, el área que se conserva corresponde a la parte de la zona de la base de un recipiente liso donde aún se conserva el *sigillum*. La rúbrica, en este caso epigráfica, alude a las iniciales M.S.F. (S retrógrada) y se corresponde con una *officina* de primera generación productora de formas 15/17 (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999). Con toda esta documentación, se llevó a cabo mediante Blender una hipótesis reconstructiva del punzón (Fig. 7). Adicionalmente, este modelo reconstruido fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12).

3.5. Punzón epigráfico AJ641

Al igual que ocurría en el caso anterior, el área que se conserva corresponde a la parte de la zona de la base de un recipiente liso donde aún se conserva el *sigillum* (Fig. 11). En este caso, la rúbrica era epigráfica y en ella parecen leerse las iniciales EXOFLCA, en referencia a la *officina* LCA que sabemos fue productora de formas lisas 15/17 y 27 (Fernández-García & Macías, 2013). Con toda esta documentación, se llevó a cabo mediante Blender una hipótesis reconstructiva del punzón (Fig. 7). Adicionalmente, este modelo reconstruido fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12).

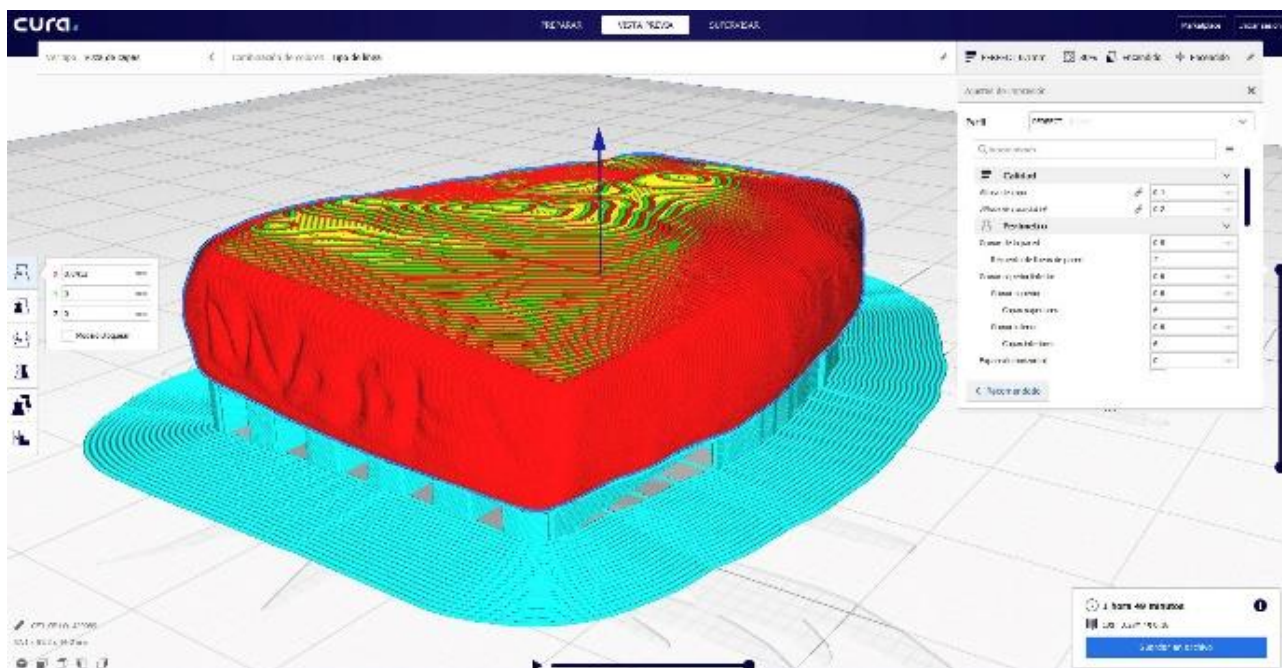


Figura 10: Segmentación realizada mediante el software Ultimaker Cura de los modelos tridimensionales de un punzón recreados a partir de los fragmentos de *terra sigillata*.

3.6. Punzón epigráfico SN1

Este fragmento de *terra sigillata* hispánica digitalizado no tenía ninguna sigla visible, por lo que, a efectos prácticos y para poder identificarlo con facilidad, para este artículo se le asignó la nomenclatura SN1 (Fig. 11). Nos encontramos ante otro fragmento de recipiente de liso donde aún se conserva gran parte del *sigillum*, a excepción de una pequeña fracción del lateral derecho. De nuevo una firma de tipo epigráfico, donde podían leerse las iniciales EXOFC.IC, haciendo referencia a la *officina* de segunda generación G.IC., la cual realizaba platos de la forma 15/17 (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Macías, 2013; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016). Con toda esta documentación gráfica sobre la mesa, mediante el software de modelado y diseño 3D Blender se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón (Fig. 7). Una vez reconstruido, el modelo 3D fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12).

3.7. Punzón epigráfico SN2

El siguiente fragmento de *terra sigillata* hispánica digitalizado no tenía ninguna sigla visible, por lo que, a efectos prácticos y para poder identificarlo con facilidad, para este artículo se le asignó la nomenclatura SN2 (Fig. 11). Nos encontramos ante otro fragmento de recipiente de liso donde se conserva gran parte de un *sigillum* que parece haber sido entallado de forma incorrecta y el trazado de la rúbrica apenas se distingue. A pesar de ello, la parte legible parece hacer referencia a E[X.O]F.P.T, una *officina* de segunda generación PT, productora de formas 15/17 y 27 (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Macías, 2013; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016). Con toda esta documentación, se llevó a cabo mediante

Blender una hipótesis reconstructiva del punzón (Fig. 7). Adicionalmente, este modelo reconstruido fue preparado para su posterior impresión (Fig. 12).

3.8. Punzón epigráfico SN3

Como ocurría en el caso anterior, el *sigillum* no se encontraba deteriorado, sino que el estampado parecía haberse realizado de forma errónea, excesivamente sucinta (Fig. 11). De esta forma, gran parte de la rúbrica resultó ser tan leve que fue casi imposible apreciar la firma. Se trata de otro epígrafe donde parece leerse "[EX].TIF [motivo vegetal]" y que hace referencia a la *officina* de segunda generación TIF, productora principalmente de formas 15/17 y 27 (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Macías, 2013; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016). Tras la recomposición de la parte faltante del sello, y con esta documentación gráfica y bibliográfica como apoyo, se llevó a cabo una propuesta reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza (Figs. 7 y 12).

3.9. Punzón epigráfico SN4

Se trata de otro fragmento de *terra sigillata* donde el *sigillum* solo aparece parcialmente (Fig. 11). En este caso, casi la mitad del mismo había desaparecido. A pesar de ello, identificamos la firma epigráfica con las iniciales [EX]OAA, *officina* de la segunda generación dedicada principalmente a la producción de formas 15/17 y 27 (Sotomayor, Roca & Fernández-García, 1999; Fernández-García, 1988; Fernández-García, 1998; Fernández-García, 2004; Fernández-García, 2013b; Fernández-García & Macías, 2013; Fernández-García & Moreno, 2013; Serrano, 2016). Tras la recomposición de la parte faltante del sello se llevó a cabo una propuesta reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza (Fig. 7). Posteriormente, el modelo fue preparado para su impresión (Fig.12).

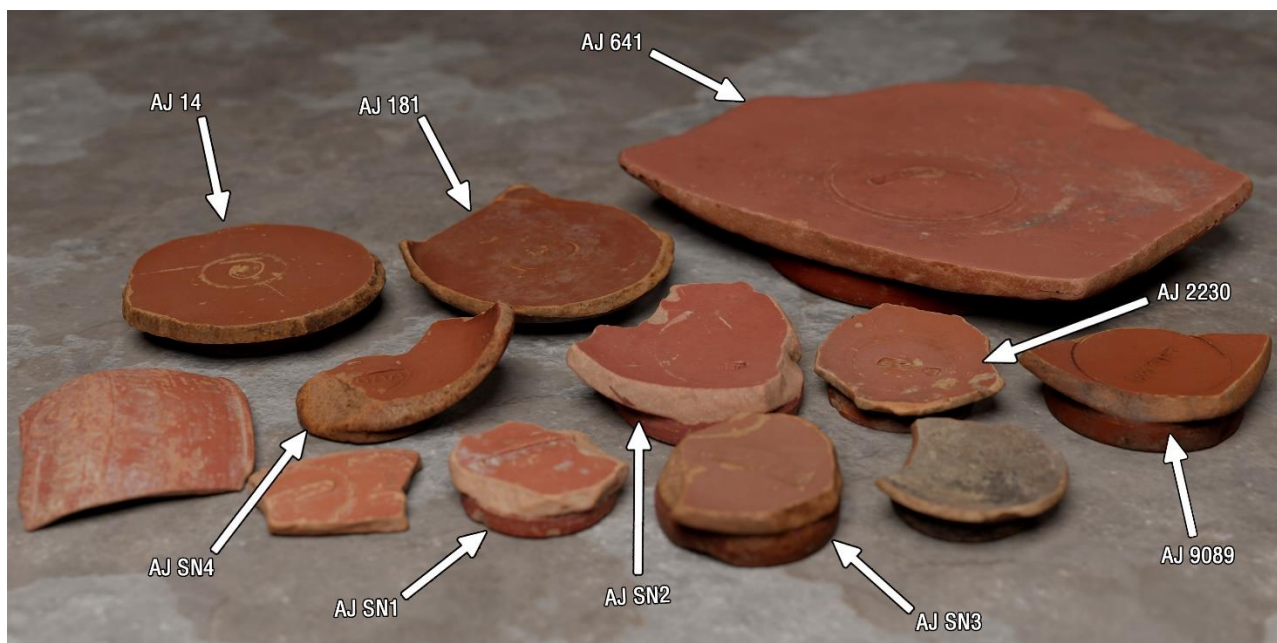


Figura 11: Montaje y renderizado en Blender de todos los modelos fotogramétricos de las piezas incluidas en este trabajo.

4. Discusión

En los últimos años, los estudios que aplican las herramientas informáticas sobre conjuntos cerámicos de *terra sigillata* están experimentando un importante crecimiento. Gracias a este nuevo estímulo nos encontramos con un fuerte incremento en el número de posibilidades de análisis y de difusión que van más allá del simple modelo fotogramétrico. Consecuencia directa de esta nueva dinámica es la publicación en los últimos años de varios estudios científicos al respecto (Alarcón, 2019; Esquivel, Alarcón, Esquivel, Fernández-García, 2019; Maldonado, 2020; Maldonado & Fernández-García, 2020; Maldonado & Dorado, 2020; Bustamante-Álvarez, Dorado & Maldonado, 2022).

Gracias al uso de estas técnicas en Arqueología, una pieza que *a priori* no se encuentra disponible en el contexto arqueológico, puede ser materializada a partir de una fracción infinitesimal de su propia realidad (Giuffrida, Nardo, Adinolfi, Mastelloni & Ponterio, 2021). Este es el caso de los punzones y marcas de entalle que presentamos en este estudio y cuya reconstrucción, y posterior rematerialización, se ha trazado a partir de la sutil incisión que este tipo de herramientas dejaban en el fondo de los recipientes de *terra sigillata* recuperados del yacimiento de Los Villares de Andújar.

A este respecto, la identificación de los *sigilla* resulta esencial, no solo para reconstruir los punzones con los que los alfareros dejaron su huella en este tipo de recipientes cerámicos, sino para comprender la configuración social y económica de estos grandes complejos alfareros. En este sentido, aunque los trabajos de investigación más tradicionales siguen siendo fundamentales a la hora de identificar y definir estos instrumentos, en la actualidad las herramientas digitales cumplen con un papel cada vez más importante y esencial para los arqueólogos.

El flujo de trabajo descrito en las líneas precedentes cumple así con una doble función: la de crear un material pedagógico fácilmente comprensible, pero, a su vez, seguir generando un discurso científico riguroso. A pesar

de que a veces la línea que separa estas dos esferas puede resultarnos demasiado delgada y peligrosamente confusa, es nuestra obligación hacer accesible el pasado a la sociedad del presente de una forma coherente, veraz, pero también adaptada a las exigencias actuales. De esta manera, conseguimos que los datos aquí aportados redunden, no solo en beneficio de la comunidad más académica, sino que adquieran un valor directo para la sociedad en general (Ascherson, 2000; Bonacchi, 2017; Bonacchi et al., 2014; Delgado, 2017; Grima, 2017; Moshenska, 2009, 2017; Richardson, 2013; Tully, 2019).

5. Conclusiones

En definitiva, la reconstrucción de los diferentes punzones a partir de modelos fotogramétricos implementados por dinámicas de mejora de su visualización, aportan un grado de precisión similar, pero a un coste temporal mucho más reducido que en el caso de las representaciones más tradicionales. Es aquí donde los MDE, así como los PTM obtenidos a partir del V-RTI, parecen haber demostrado su principal utilidad.

Por otro lado, la generalización de paquetes informáticos de código libre como Blender ha supuesto un enorme revulsivo en todos los trabajos de reconstrucción y recuperación virtual del patrimonio cultural. En efecto, al combinar potencia de procesamiento y flexibilidad de uso, este programa se convierte en una herramienta inmejorable y en el eje vertebrador, no solo de este, sino de muchos otros trabajos de esta índole. En este sentido, la democratización de los dispositivos de prototipado rápido, la impresión 3D es hoy una realidad cada vez más habitual e incluso aquellos equipos más básicos permiten generar materiales de una extraordinaria precisión.

Las tecnologías de digitalización y prototipado rápido como la impresión 3D han demostrado ser herramientas de una enorme utilidad para que el patrimonio arqueológico sea más accesible, independientemente de la situación, necesidades o ubicación geográfica. Nos encontramos ahora ante una forma diferente de entender



Figura 12: Modelos impresos de los punzones y marcas de entalle recreados a partir de los fragmentos incluidos en este trabajo.

la arqueología, en la que la cultura material ya no solo está compuesta por objetos físicos rescatados en el decurso de las distintas intervenciones arqueológicas, sino por aquella realidad que puede reconstruirse a partir de estas técnicas digitales de modelización y su ulterior impresión. Al generar este tipo de artefactos es posible reconstruir no solo el objeto en sí, sino aquellas lagunas de conocimiento que derivan de un contexto arqueológico cuya naturaleza fragmentaria es, habitualmente, incuestionable. Todo ello, abre una nueva vía de análisis en torno a las marcas de entalle de las producciones lisas de *terra sigillata* y posibilita una realidad que podría extrapolarse más allá del ámbito local del *Municipium Isturgi Triumphale* y de un tipo cerámico concreto.

Agradecimientos

El presente trabajo ha contado con el soporte del proyecto Producción y adquisición de cerámicas finas en la Hispania altoimperial: sigilla hispaniae (PID2019-105294GB-I00)/AEI/10.13039/501100011033). Además, se encuentra enmarcado en las líneas estratégicas del proyecto *Arqueología en la Red (2): Ahora más conectados. Las nuevas colecciones de Prehistoria y Arqueología de la UGR y el proyecto Nuevas herramientas para una investigación inclusiva en Arqueología e Historia (VIEW/TOUCH.LAB.3D)*, financiados por el Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Granada.

References

- Alarcón Moreno, L. (2019). Una propuesta 3D para su aplicación en el análisis estadístico de la cerámica. *La Terra Sigillata Hispánica de Los Villares de Andújar* (Granada). Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/57769>
- Antón, D., Medjdoub, B., Shrahily, R., & Moyano, J. (2018). Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(5), 790–805. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1415391>
- Aparicio Resco, P., & Figueiredo, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. *OTARQ*, 1, 235–247. <https://doi.org/10.23914/otarq.v0i1.96>
- Ascherson, N. (2000). Editorial. *Public Archaeology*, 1(1), 1–4.
- Aura-Castro, E., Díaz-Marín, C., Mas-Barberà, X., Sánchez, M., & Vendrell Vidal, E. (2021). Characterization of 3d printing filaments applied in restoration of sensitive archaeological objects using rapid prototyping. *Rapid Prototyping Journal*, 27(4), 645–657. <https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2019-0153>
- Barreau, J.-B., Nicolas, T., Bruniaux, G., Petit, E., Petit, Q., Bernard, Y., Gagne, R., & Gouranton, V. (2014). Ceramics Fragments Digitization by Photogrammetry, Reconstructions and Applications. *ArXiv*, abs/1412.1330, 2–9.
- Barrero Martín, N. (2018): Anillo con entalle de Eneas huyendo de Troya. Nueva incorporación en las colecciones del Museo Nacional de Arte Romano. In S. Perea & J. T. García (Eds.), *Glyptós. Gemas y Camafeos Greco-romanos: Arte, Mitologías, Creencias* (pp. 11–21). Madrid: Signifer Libros.
- Benavides López, J. A. (2017). *Nuevas tecnologías en la documentación del patrimonio: La alcazaba de Guadix - El castillo de Píñar*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/47477>
- Bonacchi, C. (2017). Digital Media in public archaeology. In: G. Moshenska (Ed.), *Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 60–72). London: University College London Press.
- Bonacchi, C., Bevan, A., Pett, D., Keinan-Schoonbaert, A., Sparks, R., Wexler, J., & Wilkin, N. (2014). Crowd-sourced archaeological research: the MicroPasts project. *Archaeology International*, 17, 61–68. <https://doi.org/10.5334/ai.1705>
- Boyd, M. J., Campbell, R., Doonan, R. C. P., Douglas, C., Gavalas, G., Gkouma, M., ... Renfrew, C. (2021). Open area, open data: advances in reflexive archaeological practice. *Journal of Field Archaeology*, 46(2), 62–80. <https://doi.org/10.1080/00934690.2020.1859780>
- Braam, D. (2017). Ultimaker Cura. Retrieved October 23, 2021, from: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>
- Bustamante-Álvarez, M., Dorado Alejos, A., & Maldonado Ruiz, A. (2022). Del latín al Braille. Nuevas aplicaciones para la enseñanza inclusiva de la ceramología romana: el caso de los sigilla en Terra Sigillata. In R. Arroyo (Ed.), *Comunicación inclusiva y Multilingüe. Retos educativos 2030 para el desarrollo sostenible*, 329–336. Madrid: Editorial Comares.
- Caine, M., Maggen, M., & Altaratz, D. (2019). Combining RTI y SFM. A Multi-Faceted approach to Inscription Analysis. In V. Cappellini (Ed.), *Electronic Imaging y the Visual Arts EVA 2019 Florence* (pp. 97–105). Firenze: Firenze University Press.
- Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low-Cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development*. Trieste: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- Carrero-Pazos, M., Vázquez-Martínez, A., & Vilas-Estévez, B. (2016). AsTrend: Towards a new method for the study of ancient carvings. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 105–119. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.044>
- De la Torre-Cantero, J., Saorín, J. L., Meier, C., Melián-Díaz, D., & Alemán, M. D. (2015). Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 27(3), 429–446. https://doi.org/10.5209/rev_aris.2015.v27.n3.45864
- De Lázaro, G. R., Martínez-Fernández, A., Rangel-Rivero, A., & Benito-Calvo, A. (2021). Shedding Light On Pre-Columbian Crania Collections Through State-Of-The-Art 3d Scanning Techniques. *Virtual Archaeology Review*, 12(24), 1–10. <https://doi.org/10.4995/VAR.2021.13742>
- Delgado Anés, L. (2017). *Gestión, comunicación y participación social en los paisajes culturales de Andalucía: El caso del Proyecto MEMOLA* (Granada). Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/47164>
- Dragendorff, H. (1979): La sigillée, reed. en *Revue Archeologique Sites*, hors-serie 7.

- Escardino Benlloch, A., Enrique Navarro, J. E., & Ramos Márquez, E. (1977). Arcillas cerámicas de la región valenciana. Estudio de algunas arcillas empleadas en la fabricación de azulejos en las provincias de Castellón y Valencia. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 16(2), 83–90.
- Escardino Benlloch, A., Gastaldo Paris, M. C., & Amorós Albaro, J. L. (1980). Arcillas cerámicas del país valenciano. IV. Estudio de algunas arcillas del maestrazgo. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 19(5), 341–345.
- Esquivel Sánchez, F. J., Alarcón Moreno, L., Esquivel Guerrero, J. A., & Fernández-García, M. I. (2019). Caracterización estadística y registro de la terra sigillata hispánica a partir de restos de un vertedero del alfar romano de Isturgi (Los Villares de Andújar, Jaén). *SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología*, 28(1), 173–192. <https://doi.org/10.12795/spal.2019.i28.08>
- Fernández-García, M^a. I., & Serrano Arnáez, B. (2013). Estructuras humanas de producción. In M^a I. Fernández-García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén, España* (pp. 91–108). Roma: Ed. Quasar.
- Fernández-García, M^a. I. (1988). *Los diversos estilos decorativos de la Sigillata Hispánica de Andújar*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/6005>
- Fernández-García, M^a. I. (1991-92). TITI OPPI y la segunda generación de alfareros en Los Villares de Andújar. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 16-17, 401–412.
- Fernández-García, M^a. I. (1998). Características de la sigillata fabricada en Andújar. In M.I. Fernández García (Ed.), *Sigillata Hispánica: estado actual de la investigación* (pp. 49–103). Jaén: Universidad de Jaén.
- Fernández-García, M^a. I. (1999). *Breve introducción al estudio de la terra sigillata.I. Estructuras de producción y comercialización*. Andújar: Centro de estudios Universidad y Progreso.
- Fernández-García, M^a. I. (2004). Alfares y producciones cerámicas en la provincia de Jaén. Balace y perspectivas. In D. Bernal & L. Lagostena (Eds.), *Figlinae Baeticae. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (SS. II a.C.- VII d.C.)*, *British Archeological Reports. International Series 1266* (pp. 239–272), Oxford: Archaeopress.
- Fernández-García, M^a. I. (2013a). *Una aproximación a Isturgi romana: el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén, España*. Roma: Ed Quasar.
- Fernández-García, M^a. I. (2013b). Una aproximación a la cronología de los alfares isturgitanos. In M.I. Fernández-García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén, España* (pp. 317–320). Roma: Ed. Quasar.
- Fernández-García, M^a. I. (2015). El centro de producción de terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar, Jaén, España. In M.I. Fernández García, P. Ruiz & V. Peinado (Eds.), *Terra Sigillata Hispánica: 50 años de investigaciones* (pp. 57–84). Roma: Ed Quasar.
- Fernández-García, M^a. I. (2019). El centro de producción de terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar (Jaén, España): Una aproximación a la difusión de sus productos. *Latomus*, 78(2), 339–384.
- Fernández-García, M^a. I. & Macías Fernández, I. (2013). Terra sigillata hispánica: producción lisa. In M.I. Fernández-García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén, España* (pp. 181–186). Roma: Ed. Quasar.
- Fernández-García, M^a. I., & Moreno Alcaide, M. (2013). Terra sigillata hispánica: producción decorada. In M. I. Fernández-García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén, España* (pp. 197–232). Roma: Ed. Quasar.
- Fernández-García, M^a I., Ruiz Parrondo, A., & Ruiz Montes, P. (2007). Indicios de Jerarquización en el centro de producción de Los Villares de Andujar (Jaén). *CVDAS, Revista de Arqueología e Historia*, 3-4, 59–71.
- Giuffrida, D., Nardo, V. M., Adinolfi, O., Mastelloni, M. A., & Ponterio, R. C. (2021). A theatrical double-faced mask preserved at the museum of Lipari (Messina): study and 3d reconstruction through portable equipment. *Virtual Archaeology Review*, 12(24), 39–48. <https://doi.org/10.4995/VAR.2021.13916>
- Goudineau, Ch. (1968). *La céramique aretine lisse. Fouilles de l'Ecole Française de Rome à Bolsena 1962-1967*. París.
- Grima, R. (2017). Presenting archaeological sites to the public. In G. Moshenska (Ed.), *Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 73–92). London: University College London Press.
- Higueras, M., Calero, A. I., & Collado-Montero, F. J. (2021). Digital 3D modeling using photogrammetry and 3D printing applied to the restoration of a Hispano-Roman architectural ornament. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 20, e00179. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00179>

LA RECUPERACIÓN DE LOS PUNZONES DE RÚBRICA DE LA TERRA SIGILLATA HISPÁNICA DEL ALFAR ROMANO DE ISTURGI A PARTIR DE SU DIGITALIZACIÓN, RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D

- Hofmann, B. (1971). Les relations entre potiers, fabricants de moules et artistes producteurs de poinçons. *Rei Cretariae Romanae Favtorvm*, XIII, 5–20.
- Iglesias Rossi, A., Ferreres, S., Mattioni, L., Sosa Cacace, M. E., Couso, M. G., & Gobbo, D. (2020). Recuperación de los sonidos de América Precolombina: nuevas y antiguas tecnologías aplicadas a la reconstrucción de instrumentos sonoros en las colecciones arqueológicas del Museo de La Plata. *Revista Del Museo de La Plata*, 5(1), 383–407.
- Jacob, J. P., & Leredde, H. (1982). Une aspect de l'organisation des centres de production céramique: le mythe du cartel. *Rei Cretariae Romanae Favtorvm*, XXI/XXII, 89–94.
- Jakob, W., Tarini, M., Panozzo, D., & Sorkine-Hornung, O. (2015). Instant field aligned meshes. *ACM Transactions on Graphics*, 34(6), 1–15. <https://doi.org/10.1145/2816795.2818078>
- Malzbender, T., Gelb, D., & Wolters, H. (2001). Polynomial Texture Maps. *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (pp. 519–528). <https://doi.org/10.1145/383259.383320>
- Maldonado Ruiz, A. (2020). *La Aplicación de la Fotogrametría (SFM) y las Nuevas Tecnologías para la Mejora de la Documentación, Difusión y Divulgación del Patrimonio Arqueológico*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/62261>
- Maldonado Ruiz, A., & Fernández-García, M. I. (2020a). Técnicas de digitalización, reconstrucción y visualización 3D aplicadas a los moldes de terra sigillata del yacimiento romano de Los Villares de Andújar (Municipio Isturgitano). Las posibilidades en la difusión, estudio y conservación del patrimonio arqueológico. *Pyrenae*, 51(2), 159–167. <https://doi.org/10.1344/Pyrenae2020.vol51num2.7>
- Maldonado Ruiz, A., & Fernández García, M. I. (2020b). Herramientas de reconstrucción y análisis digital aplicadas al patrimonio arqueológico de Los Villares de Andújar. El caso de los moldes de Terra Sigillata Hispánica. In M^a.I. Fernández-García & E. Gómez (Eds.), *La cerámica de mesa romana en sus ámbitos de uso: Terra sigillata Hispánica* (pp. 435–456). Andújar: Universidad de Granada y Excmo. Ayuntamiento de Andújar.
- Maldonado Ruiz, A., & Dorado Alejos, A. (2020). Cerámica y Arqueología Virtual. Hacia nuevos modelos de representación. *ArqueoWeb*, 20, 1–19.
- Maldonado Ruiz, A., Rouco Collazo, J., & Martínez Carrillo, C. (2021). Arqueología Pública, Impresión 3D y Tifología. La Accesibilidad del Patrimonio Arqueológico como forma de difusión. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 31, 421–441. <https://doi.org/10.30827/cpag.v31i0.15430>
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Jerbania, I. Ben, & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. *Sustainability*, 13(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su13095319>
- Marson, N., Diaz-Nocera, A., Real, J. P., & Palma, S. (2016). Las impresoras 3D y el diseño de medicamentos. *Bitácora Digital*, 3(7), 1–4.
- Moshenska, G. (2009). What is Public Archaeology?. *Present Past*, 1, 46–48.
- Moshenska, G. (2017). Introduction: public archaeology as practice and scholarship where archaeology meets the world. In G. Moshenska (Ed.), *Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 1–13). London: University College London Press.
- Perrot, A., Rangeard, D., & Pierre, A. (2016). Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures*, 49(4), 1213–1220. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0571-0>
- Pucci, G. (1993). I bolli sulla terra sigillata: fra epigrafia e storia economica. *Journal of Roman Archaeology, supplementary serie*, 6, 73–80.
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3, 1104–1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- Remondino, F., Nocerino, E., Toschi, I., & Menna, F. (2017). A critical review of automated photogrammetric processing of large datasets. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 591–599.
- Rengier, F., Mehndiratta, A., Von Tengg-Koblighk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H. U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5(4), 335–341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- Riccioni, G. (1972). *Problemi di archeologia gallo-romana I. La terra sigillata della Gallia meridionale*, Bologna.
- Richardson, L. (2013). A Digital Public Archaeology?. *Papers from the Institute of Archaeology*, 23(1), 10.

- Roosendaal, T. (1998). *Blender*. Retrieved from <https://www.blender.org/>
- Ruiz Montes, P. (2012). *Nuevas lecturas en torno a procesos de producción y sustratos productivos en el complejo alfarero romano de Los Villares de Andújar (Andújar, Jaén)*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/20205>
- Sáenz Preciado, J. C. (2016). La consideración social y jurídica de los alfareros y sus talleres en época clásica. *Saldvie*, 16, 137–157.
- Santos Amado, J. D., Malagón Villafrades, P., & Córdoba Tuta, E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la Región de Barichara, Santander. *Dyna*, 167, 53–61.
- Serrano Arnáez, B. (2016). *Estructuras humanas y económicas de producción de la Terra Sigillata Hispánica: Los productores de moldes*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/43693>
- Serrano Arnáez, B., Compañá, J. M., & Fernández-García, M. I. (2016). Chemical and mineralogical characterization of Roman Sigillata moulds from Andújar (Jaén, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 7, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.03.044>
- Sotomayor Muro, M. (1988): Fondos de sigillata de Andalucía con marcas interiores de entalles. *Gerion*, 1, 253–262.
- Sotomayor Muro, M., Roca Roumens, M., & Fernández-García, M^a I. (1999). El centro de producción de t.s.h. de Los Villares de Andújar. In M. Roca Roumens, & M^a I. Fernández García, (Eds.), *Terra Sigillata Hispánica: centros de fabricación y producción de época altoimperial* (pp. 49–60). Málaga: Universidad de Jaén/Málaga.
- Stucki, J. W., Bish, D. L., & Mumpton, F. A. (Eds.) (1990). *Thermal analysis in clay science*. Boulder, CO: The Clay Minerals Society.
- Torregrosa-Fuentes, D., Spairani Berrio, Y., Huesca Tortosa, J. A., Cuevas González, J., & Torregrosa-Fuentes, A. J. (2018). Aplicación de la fotogrametría automatizada y de técnicas de iluminación con herramientas SIG para la visualización y el análisis de una piedra con relieves antropomorfos. *Virtual Archaeology Review*, 9(19), 114–124. <https://doi.org/10.4995/var.2018.9531>
- Tully, G. (2019). Skills, ethics and approaches: an introduction to ‘the basics’ of participatory archaeology. *Post-Classical Archaeologies*, 9, 35–60.
- Vertet, H. (1976). Les poinçons-matrices de sigillée du Musée de Moulins. Problèmes techniques-catalogue. *Figlina*, 1, 97–142.
- Zennaro, M. (2013). The Role of Open Source Software and Hardware in the 3D Printing Revolution. In E. Canessa, C. Fonda & M. Zennaro (Eds.), *Low-Cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development* (pp. 61–66). Trieste: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.