



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Trabajo Fin de Grado

FTIR en el estudio de restos quemados en arqueología. Propuesta para el yacimiento tartésico del Turuñuelo

Alumno/a: Marina Olmedo Hilario

Tutor/a: Prof. D. Ginés Alfonso Gea Guillén,
Prof. D. Mario Gutiérrez Rodríguez

Dpto.: Geología y Patrimonio Histórico

Mayo, 2023

Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. OBJETIVOS.....	10
III. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	10
IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE LA ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	11
V. APLICACIÓN DEL FTIR EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS DE LA PROTOHISTORIA Y DE LA ANTIGÜEDAD CLÁSICA.....	14
VI. PROPUESTA DE APLICACIÓN EN EL YACIMIENTO TARTÉSICO DEL TURUÑUELO (GUAREÑA, BADAJOZ).....	24
VII. A EL YACIMIENTO DEL TURUÑUELO.....	24
VII. B. PROPUESTA DE APLICACIÓN.....	34
VII. CONCLUSIONES.....	37
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	38

RESUMEN

En este trabajo vamos a revisar la técnica Espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), utilizada en arqueología para el estudio de restos quemados en el registro arqueológico, con el objetivo de realizar una propuesta de aplicación en el yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo, en Guareña, Badajoz, el cual fue incendiado como parte del evento de amortización del edificio a finales del siglo V a.C.

PALABRAS CLAVE: FTIR, Restos quemados, Turuñuelo, Adobes, Temperaturas máximas alcanzadas.

ABSTRACT

In this work, we will review the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) technique, used in archaeology for the study of burned remains in the archaeological record, with the aim of proposing its application at the Tartessian site of Casas del Turuñuelo, in Guareña, Badajoz, which was burned as part of the building's dismantling event at the end of the 5th century BCE.

KEY WORDS: FTIR, Burned remains, Turuñuelo, Mud bricks, Maximum temperatures reached.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del estudio de restos expuestos a altas temperaturas encontrados en contextos arqueológicos. Para comenzar hagamos una revisión para entender por qué es importante y qué información nos puede proporcionar el estudio de los restos quemados o expuestos a altas temperaturas en arqueología.

Desde hace al menos medio millón de años los seres humanos llevan utilizando el fuego para distintas actividades, desde cocinar, uso defensivo, hasta para construir materiales sintéticos, como cerámicas o yeso (Weiner, 2010). La evidencia más antigua del uso intencional del fuego es de hace 1 millón de años, en Wonderwerk Cave (Berna *et al.*, 2012). Este uso intencionado del fuego y las actividades subyacentes son denominadas actividades pirotecnológicas (Weiner, 2010). El uso del fuego ha tenido una gran importancia e impacto en nuestra especie y cultura, de hecho, el ser humano es el único animal que ha presentado este comportamiento. Exponiendo al calor ciertos materiales estos se transforman y alteran su composición atómica, llevando a descubrimientos tan útiles como el vidrio, la cocina, los metales o la cerámica. El fuego también permite que muchos materiales sean maleables y podamos cambiar su forma a voluntad, como los metales o el vidrio (Weiner, 2010).

Los restos arqueológicos afectados por el fuego son muy comunes en el registro arqueológico y pueden ser identificados por la aparición de estructuras, materiales o adobes quemados, carbón, cenizas y hollín (Figura 1). Su estudio es muy importante ya que nos puede ayudar a comprender mejor el evento que provocó el incendio y sus causas. Se estudia la intensidad del fuego, su duración y dispersión, atendiendo también a la apariencia de los restos (color), cronología y dispersión de los materiales hallados (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019). También el estudio de los procesos pirotecnológicos es muy importante ya que nos ayuda a conocer cómo fueron elaborados los productos, en qué instalaciones (aunque estas no suelen conservarse) y qué residuos dejaban estas actividades, como cenizas y carbón (Weiner, 2010). Tanto las actividades pirotecnológicas como los fuegos deliberados o accidentales, nos dejan una marca en el registro arqueológico. Los diferentes residuos dejados por un fuego nos ayudan a reconstruir el pasado, pueden ser los desechos de la propia actividad, como descartes, cenizas o carbón o el sedimento circundante que fue expuesto a altas temperaturas (Berna *et al.*, 2007). Las cenizas de un fuego se producen en grandes cantidades y suelen expandirse mucho más allá del foco donde se produjeron. Son un buen indicador de que allí hubo una actividad pirotecnológica (Weiner,

2010). De igual modo los sedimentos expuestos al fuego también se extienden con facilidad y son muy duraderos, por lo que es clave para la reconstrucción y estudio de las actividades relacionadas con el fuego (Weiner, 2010).

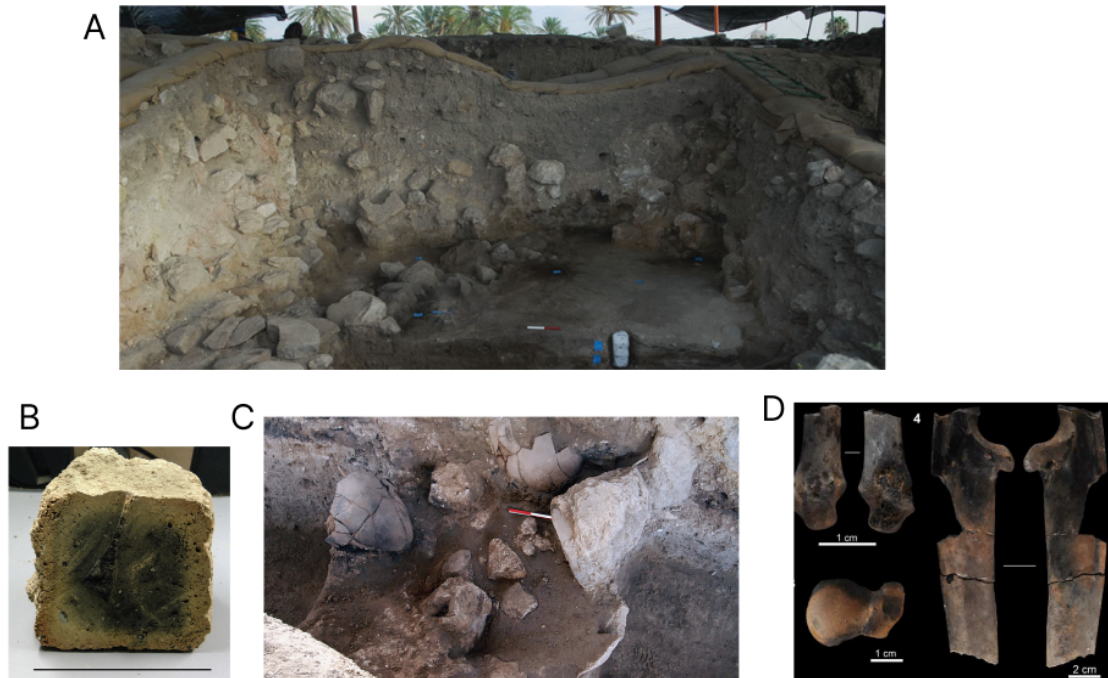


Figura 1. Efectos del fuego en el registro arqueológico. Nota. A) Nivel de destrucción, con adobes quemados y suelo ennegrecido en Tel Megiddo. B) Adobe quemado uniformemente en Tell es-Safi/Gath C) Materiales carbonizados y cerámica quemada en Tel Megiddo D) Huesos quemados en Cova del Gegant. Modificado de A) Forget y Shahack Gross, (2016), B) Namdar *et al.*, (2011), C) Regev *et al.*, (2015), D) Sanz *et al.*, (2017).

Una de las técnicas utilizadas para su estudio es la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), que estudia el desorden de los átomos y nos aporta información sobre cómo se hizo el material y cómo se ha alterado con el tiempo (Weiner, 2010). En este trabajo presentamos esta técnica y analizamos la importancia que ha tenido a lo largo de los años en muchas investigaciones arqueológicas sobre restos quemados, y finalmente realizaremos una propuesta de utilización en el yacimiento del Turuñuelo, en Guareña, Badajoz, ya que por sus características recoge todos los puntos para ser un muy buen candidato para utilizar el FTIR.

El Turuñuelo es un ejemplo de yacimiento tipo tell. En la zona de Oriente Próximo durante la Edad del Bronce y la Edad del Hierro es muy común encontrar yacimientos en forma de tell que presentan alguno de sus niveles con indicios de destrucción y de incendio (Kreimerman *et al.* 2022). Los tell son un tipo de yacimiento caracterizado por su forma de

montículo y por tener un ciclo de construcción-destrucción tras otro. Primero la construcción de arquitectura, principalmente en adobe, un largo uso de la misma y su posterior destrucción para la construcción de un nuevo ciclo. Las fases de destrucción se van acumulando y están compuestas principalmente por restos arquitectónicos y sedimentos producto de la ocupación humana, por lo que tienen un alto contenido en arcilla, procedente de la construcción con adobes y yeso de barro (Berna *et al.*, 2007). Aunque en el caso del Turuñuelo, la fase de destrucción no llevó a otra de construcción, sino que se realizó un gran banquete ritual previo a la destrucción, tras el cual se incendió y colmató el edificio, creando un montículo.

Con el FTIR es posible analizar muestras de diversos materiales arqueológicos, tales como cerámicas, sedimentos o huesos. Para ello se prepara una lámina delgada con la muestra que se quiere analizar (Weiner, 2010). Para determinar la temperatura alcanzada principalmente se analiza la transformación estructural de los silicatos (minerales de la arcilla) ya que la arcilla pasa por una gran serie de cambios según la temperatura va en aumento, por lo que es un buen indicador para conocer la temperatura alcanzada (Berna *et al.*, 2007). Los minerales de la arcilla componen gran parte de los materiales arqueológicos, como cerámicas, ladrillos o tejas, pero también instalaciones (hornos, paredes) o sedimentos (Berna, 2017). Cuando son expuestos a altas temperaturas su composición atómica es alterada y se vuelve más desordenada (Weiner, 2010). Utilizando el FTIR se puede analizar este desorden y ver qué temperaturas las causaron. Cada actividad pirotecnológica requiere de una temperatura en concreto para llevarse a cabo (por ejemplo, 1083°C el cobre o 1537°C el hierro para el punto de fusión), así como cada una de sus fases. Por lo que, si tenemos en cuenta el contexto y los restos arqueológicos asociados, la temperatura que alcanzó un material o sedimento puede llevarnos a identificar la actividad pirotecnológica relacionada (Berna *et al.*, 2007).

El FTIR no es la única técnica que sirve para determinar la temperatura alcanzada, también se pueden aplicar (hasta una temperatura de 1400°C) el análisis térmico diferencial (DTA) o análisis termogravimétrico (TGA), difracción de rayos X (XRD), resonancia magnética nuclear (NMR) y espectroscopía raman (Berna *et al.*, 2007).

En estos últimos años la interpretación de niveles arqueológicos quemados ha avanzado mucho gracias a la aplicación de la arqueología experimental, al desarrollo de técnicas micro-geoarqueológicas y a la implementación de los métodos utilizados para la investigación de incendios en la actualidad (Kreimerman *et al.*, 2022). Por lo que podemos

decir que el estudio de restos quemados en arqueología se puede abordar desde cuatro aproximaciones (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019).

- La primera es el estudio macroscópico. Tradicionalmente esta aproximación se basaba en la identificación a simple vista, localización y grosor de cenizas, carbones y adobes quemados. Utilizando este método se intentaba reconstruir la secuencia de depósito de las estructuras durante el incendio, su previa localización y entender si había sido intencional o provocado. Los datos que aporta el estudio macroscópico no son suficientes para reconstruir el evento completo del incendio. Un patrón observado bajo este tipo de estudio es que la extensión de un fuego varía mucho de un yacimiento a otro, incluso de una habitación a otra en un mismo yacimiento (Kreimerman *et al.*, 2022). Otra aproximación es la de entender las circunstancias previas a la destrucción para inducir una causa, como identificando arquitectura de crisis, indicios de terremotos, abandono del sitio o restos de una batalla (Kreimerman *et al.*, 2022).
- La siguiente es el estudio micro-geoarqueológico, que utiliza técnicas como la espectroscopia infrarroja para identificar minerales alterados por el calor, tales como la arcilla, la calcita y el aragonito (Kreimerman *et al.*, 2022). Aproximación utilizada en trabajos como los de Berna *et al.*, (2012); Passerini *et al.*, (2016); Hlubik *et al.*, (2017); Rodríguez-Cintas and Cabanes, (2017).
- Otra de las aproximaciones es la aplicación de conocimientos provenientes de la investigación de incendios en la actualidad (Kreimerman *et al.*, 2022). Se trata de un estudio sistemático de las evidencias que ha dejado el fuego y su análisis utilizando la dinámica y la ingeniería de incendios (De Haan y Icove, 2014). En muchos casos no se pueden aplicar todos los conceptos modernos ya que se basan en estructuras actuales, y los edificios quemados a tratar llevan en ese estado durante siglos y han sido probablemente alterados por el tiempo. Por lo que hay que tratar estos conceptos con sumo cuidado y utilizar únicamente los que también se puedan aplicar tanto al estado de deterioro como a los materiales constructivos de la época (adobe, piedra y restos vegetales) y condiciones del edificio. Para interpretar correctamente la distribución de las diferentes temperaturas es muy importante comprender las dinámicas bajo las que se comporta un incendio y cómo afecta a paredes, suelos, adobes, techo y materiales que se hallaran en la habitación (Kreimerman *et al.*, 2022).

- Por último, la arqueología experimental. Esta aúna los conceptos sobre investigación de incendios en la actualidad y los pone a prueba para ver cuáles se podrían aplicar al estudio de incendios en la antigüedad (Kreimerman *et al.*, 2022). Podemos destacar trabajos como el llevado a cabo por Forget *et al.*, (2015) y Kreimerman y Shahack-Gross (2019).

La interpretación de niveles tipo tell, a lo largo del tiempo, ha sido abordada desde distintas aproximaciones, pero al no existir un método único de estudio de niveles quemados estas interpretaciones han sido principalmente propuestas desde un solo tipo de aproximación. El uso complementario de varias aproximaciones ayuda a alcanzar conclusiones más claras sobre la reconstrucción del incendio (Kreimerman *et al.*, 2022).

Kreimerman *et al.*, (2022) destaca algunos parámetros teóricos basados en la investigación de fuegos en la actualidad que pueden utilizarse en arqueología e investigarse utilizando herramientas micro-geoarqueológicas, como la distribución del calor (tanto en paredes, sedimentos y adobes), la distribución de cenizas, carbones y hollín (Figura 2).

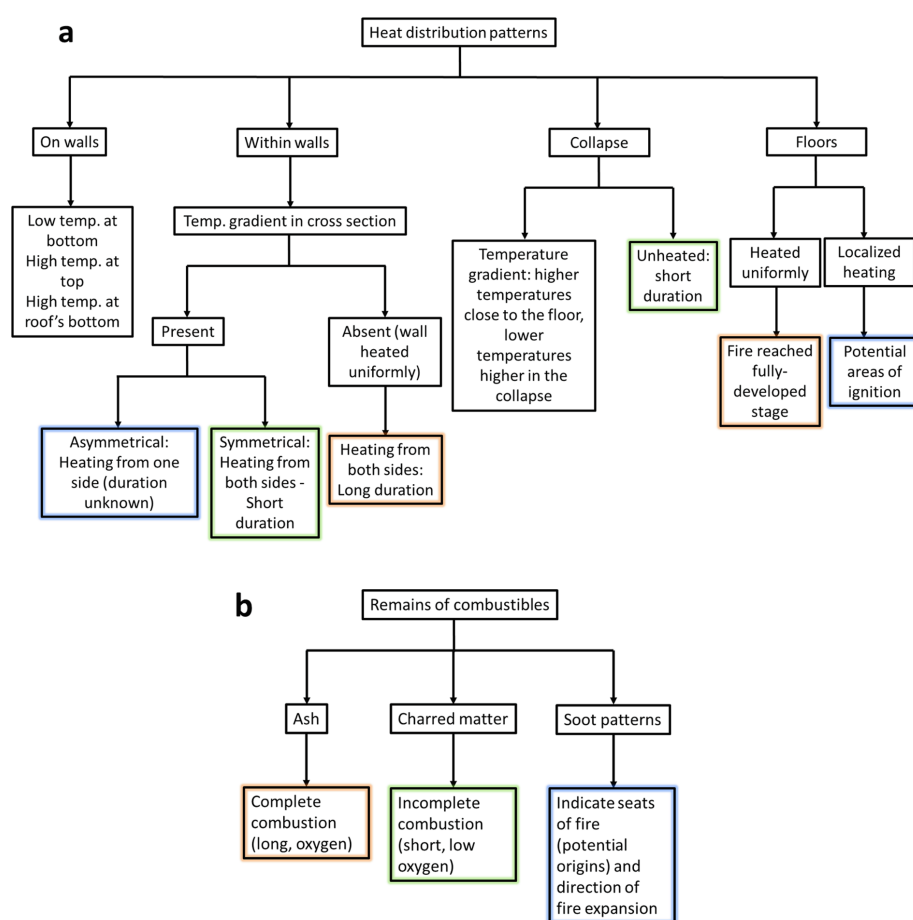


Figura 2. Esquema resumen de tipos de evidencia para la reconstrucción e investigación de incendios. Adaptado de Kreimerman *et al.*, (2022).

Durante un incendio se distinguen dos capas, la superior se compone de los productos procedentes de la combustión, gases que se van acumulando y calentando cada vez más según pasa el tiempo, y otra capa con aire más frío (Quintiere, 2006). Esto queda registrado en los adobes (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019). La capa de gas caliente cercana al techo tiende a expandirse a través de puertas y ventanas, enfriándose más con la distancia a causa del contacto con el aire frío (De Haan y Icove, 2014). Es por esto que en habitaciones donde no ha habido un foco de fuego, aun así los adobes cercanos al techo pueden presentar indicios de haber sido expuestos a altas temperaturas (Kreimerman *et al.*, 2022). La mayoría de los edificios de tipo tell están contruidos en adobe y con una cubierta vegetal reforzada por barro. Este tipo de techumbre no es fácil de prender ya que el barro es resistente al fuego, por lo que actúa como capa aislante provocando la acumulación de gases calientes en la parte superior (Kreimerman *et al.*, 2022).

Una combustión súbita generalizada o *flashover* puede suceder cuando la capa de gases calientes que han ido acumulándose llega a una temperatura tal en la que se prende fuego en una rápida reacción. En este momento se alcanza la etapa de incendio totalmente desarrollado, en la que el fuego utiliza todos los combustibles disponibles en la habitación y su duración depende del oxígeno disponible (Quintiere, 2006). Esta etapa puede darse aunque no haya sucedido un *flashover*, y alcanza altas temperaturas, de 700-1200°C. Cuando se alcanzan altas temperaturas en una habitación una de las mejores interpretaciones es que se alcanzó la etapa de incendio totalmente desarrollado (Kreimerman *et al.* 2022). Algunos de los combustibles que pueden alimentar un fuego en edificios tipo tell podrían ser, el techo vegetal, postes de madera, muebles y objetos de madera, textiles, comida deshidratada, entre otros (Forget y Shahack Gross, 2016).

Analizando las temperaturas alcanzadas en el suelo y haciendo un mapa de calor podemos ver si el fuego alcanzó su etapa de total desarrollo, ya que cuando esto sucede el suelo acaba por calentarse de forma uniforme y amplia. En cambio, si aparecen varios pequeños focos a alta temperatura, indica que este momento no se alcanzó y puede indicar el posible inicio del incendio u objetos que se prendieron (Quintiere, 2006).

Cuando la madera u otro tipo de material de procedencia vegetal se quema no lo hace directamente, sino que primero se carboniza y después continúa con un proceso distinto de

combustión, conocido como combustión latente. Este es un proceso que se mantiene solo por el contacto que tiene el oxígeno sobre la superficie, que es lento, sin llama y se mantiene a baja temperatura (Ohlemiller, 2002). Cuando se completa el proceso el producto resultante son cenizas, y si se detiene y queda incompleto, principalmente por falta de oxígeno, quedando restos de carbones y hollín (Braadbaart and Poole, 2008).

En arqueología una gran acumulación de cenizas indica dónde el fuego ardió por más tiempo, pero no tiene por qué indicar el foco original. Un indicativo del origen del fuego puede ser el hollín en paredes, ya que se forma en la pared adyacente al foco, o un solo lugar en el suelo que registre altas temperaturas (Kreimerman *et al.*, 2022).

Tras el incendio la estructura queda dañada, por lo que lo más común es encontrar un nivel de destrucción. En este caso podemos encontrar la siguiente secuencia estratigráfica; suelo (con pequeños focos de calor o calentado de forma uniforme, con restos de cenizas y carbones), el techo y la parte superior de las paredes (materiales expuestos a temperaturas altas) y el resto de las paredes (materiales expuestos a baja temperatura) (Figura 3) (Kreimerman *et al.*, 2022).

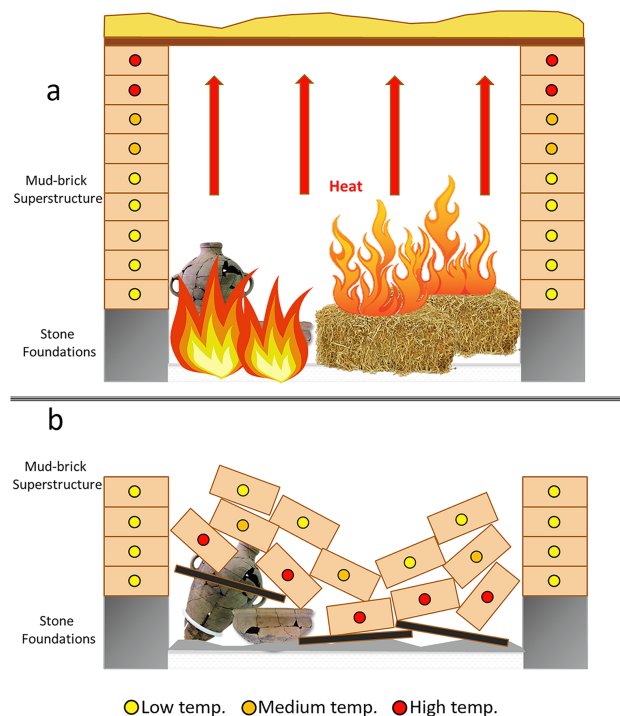


Figura 3. Secuencia estratigráfica tras el derrumbe del edificio a causa de un incendio. Modificado de Kreimerman *et al.*, (2022).

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es realizar una propuesta de aplicación de la técnica FTIR en el yacimiento de Casas del Turuñuelo, en Guareña, Badajoz, un yacimiento muy importante para la Protohistoria peninsular construido en adobe y que fue amortizado en un evento de conflagración. Este yacimiento recoge todas las características clave para ser investigado aplicando la técnica FTIR.

Para conseguir este objetivo general se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Una búsqueda bibliográfica para comprender los fundamentos y protocolos analíticos del FTIR, así como conocer su uso e importancia.
- Realizar una revisión historiográfica de los principales estudios que han utilizado esta técnica.
- Conocer y analizar la secuencia del yacimiento del Turuñuelo.
- Resaltar la importancia de investigar los restos arqueológicos quemados.

III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la elaboración de este trabajo se ha realizado una exhaustiva búsqueda bibliográfica y un estudio del material científico encontrado. En primer lugar, se comenzó con la bibliografía inicial básica que los tutores proporcionaron al inicio de la realización de este trabajo, acerca del FTIR y el yacimiento del Turuñuelo, a partir de la cual se amplió en base a las referencias bibliográficas de estos mismos trabajos.

Se han consultado diversos repositorios disponibles en internet, introduciendo en primer lugar el título del estudio que se quería encontrar o por palabras clave, como “FTIR”, “Archaeology” o “El Turuñuelo”. Han sido utilizados repositorios como el de la Biblioteca de Jaén, ScienceDirect, ResearchGate, Academia, y revistas online como la de Cambridge Journals online y The university of Chicago Press Journal.

Finalmente, se incluyeron imágenes e ilustraciones que complementan las explicaciones extraídas de diversas publicaciones, siendo adaptadas a conveniencia mediante el programa de edición de imágenes Figma.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE LA ESPECTROSCOPIA INFRARROJA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

En arqueología una de las técnicas más utilizadas para reconstruir a qué temperaturas estuvieron expuestos los materiales quemados es el FTIR (Kreimerman *et al.*, 2022).

La espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) es una técnica instrumental que mide la absorción de radiación infrarroja de un material (Berna, 2017). Para ello se utiliza un espectrómetro infrarrojo (Figura 4) y nos permite conocer la presencia o ausencia de ciertos minerales (tanto cristalinos como amorfos) o componentes orgánicos, y su estado de orden o desorden atómico, es decir, conocer si han sufrido alguna alteración. El rango que cubre un espectrómetro infrarrojo convencional es de 4.000 a 400 cm^{-1} . Una de las grandes mejoras para esta técnica, sin duda, fue la implementación de un microscopio óptico al espectrómetro infrarrojo, lo que nos permite analizar muestras muy pequeñas, de nivel microscópico utilizando el análisis de láminas delgadas (Weiner, 2010). En arqueología es mucho más común el estudio de restos macroscópicos, como fragmentos de cerámicas, metales, etc, y es menos común analizar los artefactos de carácter microscópico, como materia vegetal quemada o micro-huesos, aunque cada vez se está demostrando la rica información que estos pueden aportar, utilizando técnicas como la del FTIR o la micromorfología (Regev *et al.*, 2015).



Figura 4. Fotografía de un Espectrómetro FTIR (marca: Bruker, modelo: Vertex 70) y microscopio infrarrojo (marca: Jasco, modelo: FT-IR 6300). Alojados en los Servicios Técnicos de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Jaén. Imágenes extraídas de Universidad de Jaén, <https://www.ujaen.es/servicios/scai/recursos/di06-microscopio-infrarrojo>, <https://www.ujaen.es/servicios/scai/recursos/di07-espectrometro-ftir-2>

Esta técnica se lleva aplicando al campo de la arqueología desde los años '50 y ha contribuido con gran eficacia a la identificación de materiales como hueso, ámbar, moluscos, barnices, tintes en pintura, etc (Toffolo y Berna, 2018). Es utilizada principalmente para dataciones, identificación y análisis de procesos de diagénesis, uso del espacio, análisis de prácticas pirotécnicas, entre otras (Weiner, 2010).

El análisis del FTIR se basa en que cada mineral o componente orgánico presenta un rango de absorción de la radiación infrarroja característico. El aparato emite radiación infrarroja que es absorbida por la muestra y causa que ciertos enlaces químicos vibren (Figura 5). El resultado se presenta en una gráfica donde aparecen picos en el espectro de absorción infrarrojo, cada enlace químico o red de enlaces presenta un pico situado en un número de onda característico. El conjunto de picos de una gráfica son característicos de un material, lo cual permite su identificación, y cuando se aprecian variaciones en forma o posición de estos picos puede indicar desorden o cambios en el material (Weiner, 2010).

Estas "huellas dactilares" específicas de IR para cada material son posibles porque los picos en un espectro infrarrojo son el resultado de la absorción de fotones a energías específicas correspondientes a las vibraciones o rotaciones de moléculas o de enlaces químicos específicos dentro de ellas. Cualquier cambio en el carácter de estos enlaces cambiará la energía característica de sus vibraciones y puede resultar en un cambio en la forma, ancho, altura y/o posición del pico. (Traducción personal de Regev et al., 2010, p. 3023).

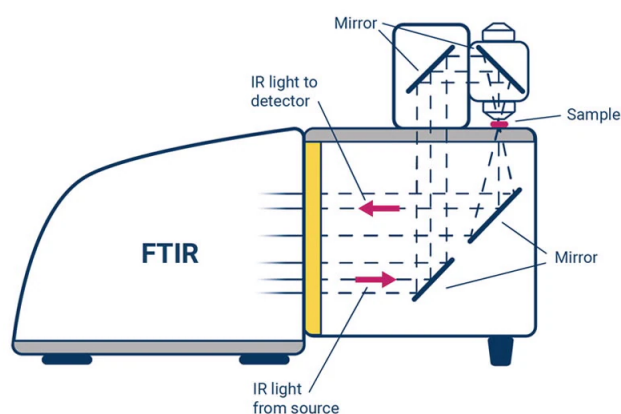


Figura 5. Diagrama que muestra cómo se emite la radiación infrarroja dentro de un espectrómetro, y como llega a la muestra. Imagen extraída de Agilent.

<https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/transmission-ftir-mode>

Es por esto que utilizando esta técnica es posible estimar la temperatura a la que un material fue sometido, las altas temperaturas producen desorden atómico en los materiales y dependiendo de la temperatura a la que se someta se producirán unos cambios u otros, es decir, los cambios en la estructura atómica son distintos si se alcanzan los 500°C que si se alcanzan los 1000°C. De hecho, para el caso concreto de los minerales de la arcilla, la temperatura mínima a la que está comienza a registrar cambios estructurales es a 500°C, a temperaturas menores no se aprecian cambios, (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019), (Forget *et al.*, 2015) y (Berna *et al.*, 2007)

La arcilla sufre distintos cambios según la temperatura va en aumento y estos se reflejan en los distintos picos que se muestran en la gráfica de absorción (Figura 6). En la gráfica de los 500°C podemos apreciar la reducción de los picos a 3638 y 3696 cm^{-1} por la pérdida de agua y la reducción a 915 cm^{-1} por la desaparición del OH. El pico a 1039 y 1080 cm^{-1} relativas al cuarzo presente en la arcilla va reduciéndose según va en aumento la temperatura y acaba por desaparecer a los 700°C. Cuando se alcanza esta temperatura la calcita empieza a desintegrarse y las bandas 1430 y 875 cm^{-1} se hacen menos pronunciadas. A esa misma temperatura desaparece la banda a 713 cm^{-1} y surge una nueva a 3640 cm^{-1} con la aparición del hidróxido de calcio, que es el resultado de la desintegración de la calcita que acaba por desaparecer por completo a los 800°C. Por último, en la gráfica de los 900°C se puede apreciar que la banda del hidróxido de calcio se vuelve más suave y aparece una nueva a 581 cm^{-1} por la posible aparición de un nuevo mineral (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019).

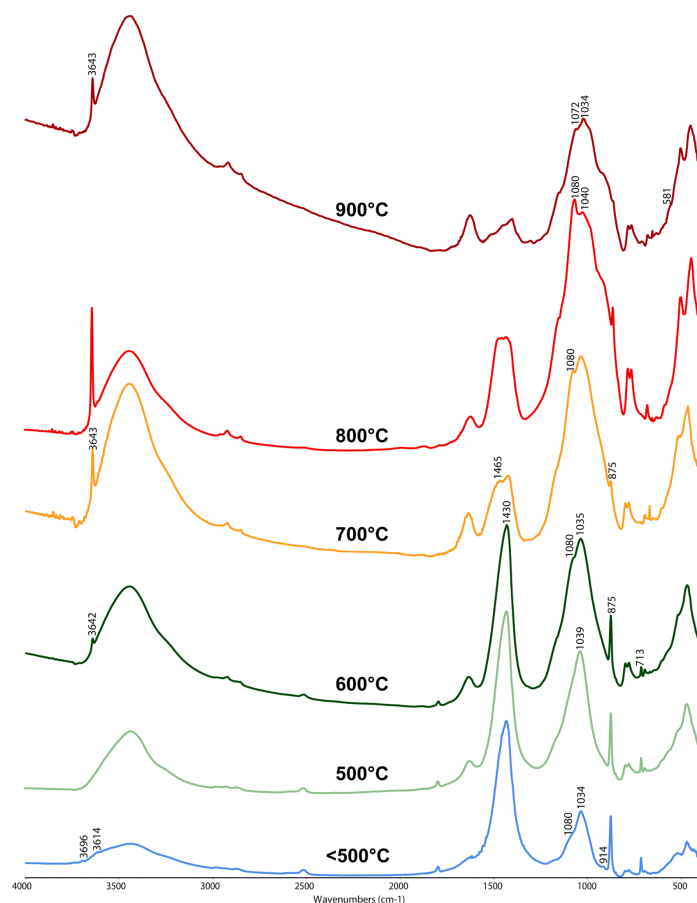


Figura 6. Espectro infrarrojo FTIR obtenido de adobes calentados experimentalmente en Lachish. Adaptado de Kreimerman *et al.*, (2022).

V. APLICACIÓN DEL FTIR EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS DE LA PROTOHISTORIA Y DE LA ANTIGÜEDAD CLÁSICA

El primer estudio que estableció un método para identificar la temperatura a la que fue sometido un adobe utilizando la espectroscopía infrarroja de los minerales de la arcilla fue realizado en 1989, ‘Determination of the Intensity of an Early Iron Age Conflagration at Tel-Hadar, Israel.’, donde se obtuvo, tras analizar los adobes, que el incendio alcanzó una temperatura máxima de 1200°C en un período corto de tiempo, menor a una hora (Shoval *et al.*, 1989).

No fue hasta la investigación y experimentos ofrecidos por Berna *et al.*, (2007) que se estableció un modelo de estudio para las arcillas a altas temperaturas. El objetivo de su trabajo era seleccionar distintos sedimentos que mostraban evidencias de haber sido expuestos a altas temperaturas, procedentes del yacimiento Tel Dor y analizar los minerales de la arcilla mediante diversas técnicas, como el FTIR, XRF (fluorescencia de rayos X), XRD

(difracción de rayos X) y micromorfología para comprender a qué tipo de actividad se le podía atribuir el cambio estructural que sufrieron a causa del calor (Berna *et al.*, 2007). Las muestras fueron calentadas tanto en horno de laboratorio (con temperaturas desde 300°C hasta 1300°C) como en experimentos al aire libre, simulando un fuego doméstico, un fuego utilizando un fuelle y otro utilizando, en este caso, dos fuelles para fundir bronce (Berna *et al.*, 2007). Este estudio planteó las bases para identificar si un resto estaba quemado o no. Demostró que distintas composiciones en la arcilla muestran distintos espectros infrarrojos, por lo que un análisis de calibración en cada yacimiento debería de llevarse a cabo. También confirman que los cambios observados en los espectros infrarrojos son indicativos de las temperaturas a las que se expuso el sedimento. También recomienda tener en cuenta que los cambios mineralógicos pueden deberse a procesos de diagénesis y no por calentamiento. Destaca la importancia de analizar los sedimentos, ya que aunque no se conserve ningún material o estructura asociada a la actividad pirotécnológica, los sedimentos pueden arrojar mucha información (Berna *et al.*, 2007). En el momento en el que se realizó este estudio aún no se comprendían muy bien los cambios que sufrían los minerales de la arcilla y cómo se reflejaban estos en el espectro infrarrojo. Se basó en los estudios previos de (Farmer, 1974; Shoval 1993, 1994), que viendo los espectros infrarrojos de materiales calentados y no calentados afirmaban que había cambios en el espectro y explican los principales cambios que ellos observan (Berna *et al.*, 2007). Por lo que su investigación y experimentos obtuvieron resultados que supusieron en el mundo del estudio de los restos quemados un modelo, que gran parte de los estudios publicados a posteriori siguieron, como Forget *et al.*, (2015); Rodríguez Cintas y Cabanes, (2017); Sanz *et al.*, (2017) entre otros.

Otro estudio pionero, en este caso relacionado con las calcitas fue el de Regev *et al.*, (2010). Propusieron una nueva forma de utilizar el espectro infrarrojo de la calcita para poder distinguir entre calcitas de distintos orígenes y poder evaluar su estado de conservación. Muchos estudios posteriores siguen estas directrices para analizar las calcitas, como Sanz *et al.*, (2017). La calcita es un mineral que se puede encontrar en contextos arqueológicos en distintas formas, proveniente tanto de origen geogénico, como en piedra caliza o travertino, biogénico como conchas marinas, o pirogénico en forma de restos de ceniza de madera y mortero de cal. Los tres picos característicos de la calcita están en ν_3 . 1420 cm^{-1} , ν_2 . 874 cm^{-1} y ν_4 . 713 cm^{-1} (Regev *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos demostraron, junto con los de otros estudios anteriores (Chu *et al.*, 2008; Surovell y Stiner, 2001), que la cantidad de molienda a la que se someta la muestra afecta al ancho de los picos y las alturas, en calcitas y

en apatitos. Además, descubrieron que si normalizaban los picos v2 en relación con v4, surgía una tendencia independiente al efecto de la molienda (Regev *et al.*, 2010). Utilizando estas líneas de tendencias descubrieron que las calcitas procedentes de distinto origen tienen líneas de tendencias característicos. Esta diferenciación solo es posible si la calcita se encuentra en un buen estado de conservación, ya que si la calcita llega a recrystalizarse su orden atómico cambia (Regev *et al.*, 2010). Un indicador para saber si la calcita está bien conservada es la aparición de aragonito en conchas de moluscos ya que este material se deteriora antes que la calcita (Weiner, 2010).

Posteriormente, Namdar *et al.*, (2011) investiga la destrucción de Tell es-Safi, en Israel, 9 a.C. utilizando una aproximación tanto microscópica (análisis de fitolitos, lípidos, FTIR) como macroscópica de un área pequeña del yacimiento, como una forma de inferir conclusiones a mayor escala. Uno de los principales objetivos del estudio es comprender la construcción, ocupación, destrucción y abandono del estrato 3, junto con saber cuánto tiempo representa un nivel de destrucción, ya que puede ser rápido o bien una secuencia larga de deterioro. El FTIR fue utilizado para identificar los componentes de los minerales, diferenciar entre carbonatos de distinto origen y estimar las temperaturas a las que fueron sometidos los minerales de la arcilla. Sugirieron que los adobes quizá no solo habían sido secados al sol sino también cocidos en horno, debido a que encontraron que la temperatura a la que fueron sometidos era homogénea en todo el adobe, de 500-600°C. Como conclusión, interpretan que el evento de destrucción se atribuía a varios procesos largos que pudieron durar décadas, entre los cuales se fueron depositando sedimentos procedentes de la degradación (Namdar *et al.*, 2011).

Berna *et al.*, (2012) llevaron a cabo análisis micro-estratigráficos y de FTIR en el estrato 10 de Wonderwerk Cave, Sudáfrica, correspondiente a 1 millón de años, donde encontraron numerosos restos de ceniza vegetal y de fragmentos de hueso quemados extendidos por todo el estrato, muy bien conservados y producidos in situ. Para analizar las muestras de hueso con la técnica FTIR el foco se sitúa en el mineral de hueso, el hidroxiapatito, que sufre un proceso de recrystalización al superar los 500°C de temperatura. Los resultados mostraban que ninguna de las muestras de hueso fueron calentadas a más de 700°C, es decir, ninguna llegó a calcinarse, y los análisis del mineral de la arcilla de los sedimentos que se encontraban adheridos al hueso mostraban haber sido calentados entre los 400- 700°C. Lo más importante es que los resultados parecían indicar que la asociación entre

la evidencia de ocupación humana en la cueva y la presencia de fuego parece indicar que ya poseían el conocimiento del fuego hace 1 millón de años. El uso del FTIR fue clave para la investigación, ya que a un nivel macroscópico resultaba imposible confirmar que los sedimentos o restos estaban quemados, y gracias a su uso se abrió una veda para el estudio de la aparición del uso del fuego en homínidos, es por eso que el estudio plantea una revisión de yacimientos de homínidos tempranos para arrojar nueva información sobre este tema (Berna *et al.*, 2012).

El trabajo de Forget *et al.*, (2015) enfocado en la arqueología experimental investiga el comportamiento de los adobes que son calentados bajo diferentes circunstancias, centrándose principalmente en la observación macroscópica del color. Tiene como intención construir un marco metodológico para identificar las condiciones que subyacen a los ladrillos de diferentes colores. Se basa en que la diferencia de color en un adobe no radica solamente en la temperatura máxima alcanzada sino también en la composición, duración e intensidad del calor y la disponibilidad de oxígeno. A diferencia de estudios previos que realizaban las pruebas de calibración bajo condiciones oxidantes y con las muestras pulverizadas, este estudio prueba si hay diferencia en si está se realiza bajo condiciones oxidantes o reductoras, y con adobes completos. Tras esto se aplica lo aprendido en un caso real, Tel Megiddo, en Israel. Para el análisis se utilizó el FTIR y se tomaron fotos de la tonalidad adquirida por el adobe (Forget *et al.*, 2015). Algunas de las conclusiones más destacadas fueron:

- En el horno los adobes mostraron un ‘efecto de temperatura elevada’, es decir, alcanzaban una temperatura máxima mayor a la medida en el horno y el efecto se reducía cuánto mayor era la temperatura máxima del horno. El núcleo del adobe llegaba a más temperatura que el borde. Observaron que este efecto dejaba de suceder cuando el adobe no contenía materia orgánica, y a más proporción de la misma, más acentuado era. Concluyeron que la materia orgánica entra en combustión exotérmica y eleva la temperatura del interior del adobe por encima de la ambiental, y observaron que cuando la temperatura desciende la materia orgánica detiene su combustión (Forget *et al.*, 2015)
- En cuanto a la duración de la combustión, la diferencia se observa en el color grisáceo oscuro del núcleo, que va disminuyendo a mayor duración se esponga, ya que la materia orgánica dispone de más oxígeno para terminar de quemarse (Figura 7). A

mayor cantidad de materia orgánica, mayor tiempo necesita para oxidarse por completo (Forget *et al.*, 2015).

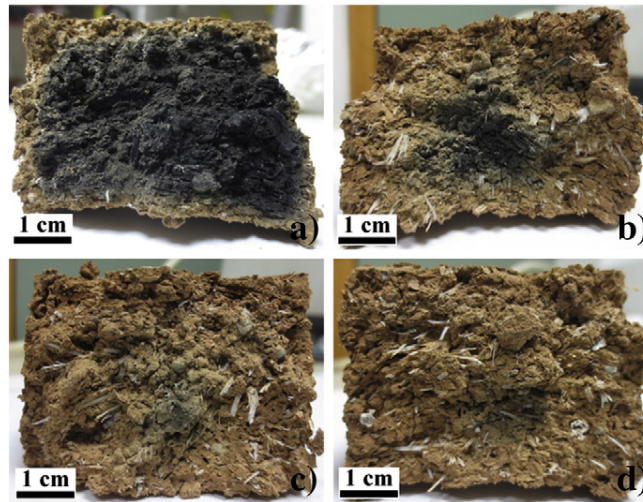


Figura 7. Cambio de coloración en relación a la duración de la combustión. Nota.a) 0 min, b) 15 min, c) 30 min d) 1 h. Adaptado de Forget *et al.*, (2015).

- Se encuentran diferencias en el espectro si el ambiente es oxidante o reductor, y son significativas cuando la temperatura es mayor a 600°C. En general, en condiciones oxidantes la banda de absorción principal de arcilla es más baja que en condiciones reductoras. Proponen que esto es debido a la diferencia en el estado de oxidación del hierro (Forget *et al.*, 2015).
- Utilizando este marco metodológico lograron ver que el muro estudiado de Tel Megiddo fue calentado a más de 700°C en condiciones oxidantes, y la parte central de la pared se calentó de 500-600°C bajo condiciones reductoras. Parece que la pared se comportó como un gran adobe calentado al horno (borde oxidado y centro reducido). Teniendo en cuenta el efecto de temperatura elevada, se infiere que la temperatura ambiental a la que fueron sometidos los adobes fue de unos 100°C menor, unos 500-550°C. En cuanto a la duración del incendio, puesto que los adobes no presentaron un centro oscuro, relacionado con un corto periodo de exposición, se deduce que la duración fue aproximadamente una hora, aunque habría más factores a tener en cuenta (Forget *et al.*, 2015).
- Trabajando con la posición de la principal banda de absorción del mineral de la arcilla y su anchura se permite una reconstrucción de la temperatura más adecuada, y se pueden establecer los siguientes rangos: no calentado o por debajo de 500°C, calentado entre 500 y 700°C, y entre 700 y 900°C (Forget *et al.*, 2015).

En ese mismo año también se publica el trabajo de Regev *et al.*, (2015), donde propone un análisis macro-arqueológico y micro-arqueológico en un área muy extensa, 200m² (Regev *et al.*, 2015). El reto estaba en entender el comportamiento de todos los restos expuestos a altas temperaturas y darle una explicación, ya que muchas zonas no presentaban evidencias de destrucción o fuego. Utilizan las microfases de una forma novedosa, para distinguir entre distintos tipos de sedimentos asociándolos a las actividades humanas que suelen producirlas, como una forma de distinguir la gran cantidad de datos que les proporcionaba el análisis micro-morfológico. Por otro lado, establecen un nuevo método para la presencia de materia orgánica y huesos en sedimentos, una estimación semicuantitativa para la concentración de hidroxiapatito carbonatado (CHAP). Utilizando el FTIR se analizaron los minerales de la arcilla, carbonatos y hidroxiapatito carbonatado (Figura 8). Las calcitas halladas provenían de cenizas, y las áreas donde se encontraban eran ricas en CHAP, interpretadas como producto de la quema de madera y estiércol. También proponen que la presencia de aragonito puede ser un indicador de exposición a altas temperaturas, puesto que en depósitos quemados no se encontraron restos de calcita que se hubiese transformado en cal por el calor, pero sí de aragonito, que es otra forma de carbonato cálcico (Regev *et al.*, 2015). Toffolo y Boaretto, (2014) identificaron que en la preparación del yeso de cal se forman pequeñas cantidades de aragonito, por lo que Regev *et al.*, (2015) concluyen que es posible que la calcita se desintegrara a causa de las altas temperaturas, y como resultado del yeso de cal solamente quedara el aragonito.

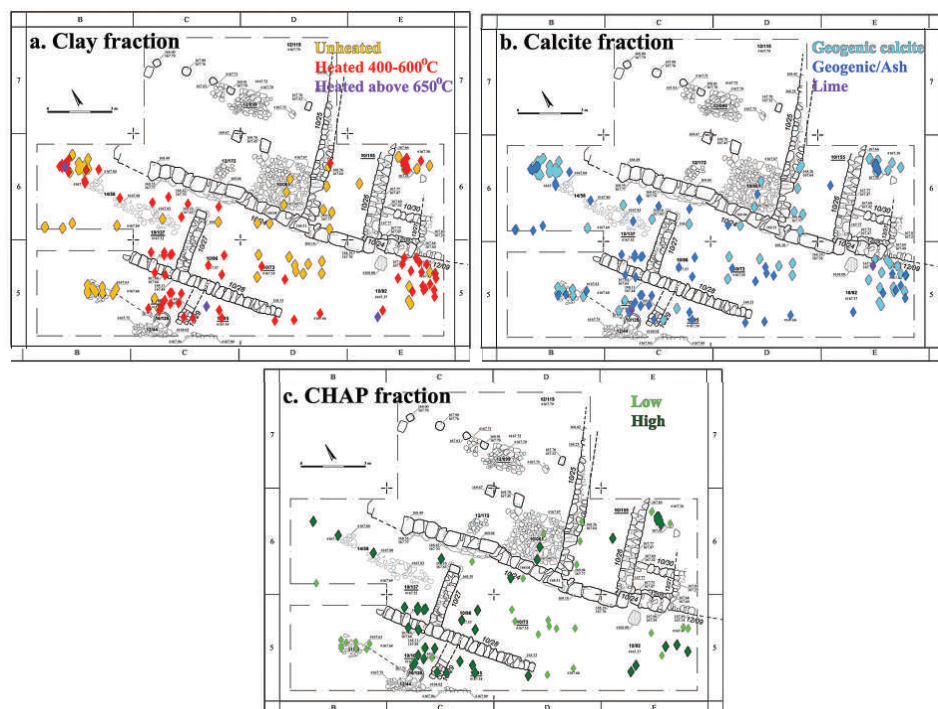


Figura 8. Mapeo de rastros microscópicos de actividades humanas. Nota: a) Minerales de arcilla, b) Calcita y su origen, c) Abundancia relativa de CHAP Adaptado de Regev *et al.*, (2015).

Hasta ese momento se habían realizado muchos avances sobre el conocimiento de incendios en la antigüedad, pero no se sabía nada sobre la duración de los mismos. Forget y Shahack Gross, (2016) prepararon adobes de diferentes tamaños, formas y composición, los calentaron en un horno midiendo el tiempo que tardaron en alcanzar los 600°C el núcleo del adobe. Dos parámetros resultaron importantes, el volumen y la tasa de calentamiento, los adobes que contenían mayor cantidad de materia orgánica se calientan más rápido, pero no aumenta la difusión del calor, por lo que el núcleo tardó lo mismo en alcanzar los 600°C. A mayor volumen del adobe, el núcleo tardaba más en llegar a la temperatura establecida y la tasa de calentamiento afectaba enormemente, por lo que si se calentaba lento tardaba mucho más en alcanzar la temperatura. Comprobaron que adobes de diferente forma y tamaño se calentaban de forma distinta, y propusieron varias ecuaciones utilizando la relación entre el área de superficie y el volumen del adobe para reconstruir el tiempo que cualquier adobe necesita para alcanzar los 600°C en su núcleo, una herramienta cuantitativa para estimar la duración de los incendios, que sin embargo solo se puede utilizar para adobes que alcanzaron temperaturas de 600°C. Obtienen que se necesita más tiempo para calentar un adobe con una relación de área a volumen más baja. Este experimento se llevó a cabo en un horno, por lo que los resultados son esperados para una habitación que es calentada desde todas direcciones (Forget y Shahack Gross, 2016).

El FTIR no solo se puede utilizar en arqueología para determinar temperaturas alcanzadas, en el caso de Passerini *et al.*, (2016) también se utilizó para juzgar el estado de conservación y calidad del C¹⁴, en carbones y semillas que serían utilizados para dataciones de radiocarbono. Se analizaron 17 muestras de carbono 14 del yacimiento de Aradets Orgora, Georgia. El FTIR también fue utilizado para recrear el contexto arqueológico en el que se enmarcan estas muestras y los resultados apuntaban a un fuego de pequeña escala (Passerini *et al.*, 2016). Semillas carbonizadas y carbones encontrados en un contexto rico en fitolitos, cenizas y arcilla expuesta a altas temperaturas son indicativos de ser productos de un evento de conflagración, por lo que los mismos tras ser datados nos llevan a la fecha en la que ocurrió el evento (Boaretto 2015).

En Hlubik *et al.*, (2017) se revisan las evidencias del uso del fuego y su asociación a actividades homínidas en el yacimiento de FxJj20 AB de hace 1.5 millones de años, en Koobi

Fora, Kenya. Se utilizaron conjuntamente la micromorfología, el FTIR y el análisis espacial para localizar y analizar los restos quemados. Según el análisis FTIR, se evidencia que al menos 50 piezas de hueso y cinco porciones de sedimento enrojecido fueron expuestos al menos a 500°C, la proporción de materiales quemados en la cueva es muy pequeña, solo el 0,014%, por lo que aún con evidencias de fuego estos no habrían sido extensos. Hallaron restos de huesos, basalto, sedimento y pedernal con evidencias de haber sido calentados, por lo que se confirma que los restos de origen antropogénico se encuentran en relación con los quemados. Hlubik *et al.*, (2017) proponen que para poder discernir entre un fuego provocado o accidental hay que tener en cuenta todo el contexto, es clave tener un mapa de alta resolución donde estén situados todos los restos, tanto a nivel macro como microscópico de los restos que estén y no estén quemados.

Con la misma temática se llevó a cabo Rodríguez Cintas y Cabanes, (2017), donde se realizaron análisis de fitolitos para estudiar el uso de combustibles y el FTIR para identificar calcita procedentes de cenizas y sedimentos alterados por el calor para determinar el uso del fuego por Neandertales en el yacimiento del Paleolítico Medio de El Salt, en Alcoy, España. Se encontraron varias estructuras de combustión, aunque apenas signos de fuego debido a que la mayor parte de la calcita era de origen geogénico. Como las muestras de arcilla sí mostraban haber sido alteradas por las altas temperaturas, apuntan a que probablemente no aparezcan cenizas (calcita antropogénica) debido a la disolución de las cenizas o a su mezcla con sedimentos de origen geogénico. Proponen que este no sería el principal lugar de actividad (Rodríguez Cintas y Cabanes, 2017).

En el yacimiento de Cova del Gegant en Barcelona perteneciente al Paleolítico Medio y con evidencias de Neandertal, Sanz *et al.*, (2017) utilizan el FTIR para evaluar la interacción entre estos homínidos y otros carnívoros que ocupaban la cueva. Los análisis confirman que la estructura de combustión contiene cenizas y carbón, aunque no parece que alcanzara temperaturas muy altas ya que la arcilla no se encuentra alterada por la temperatura. Se hallaron varios restos de hueso quemados, pero se plantea que son el resultado de eventos postdeposicionales, consecuencia de calentar los restos de carnívoros ya dejados en la cueva por los fuegos que encendieron los humanos. El uso de la cueva parece que fue principalmente como refugio de carnívoros, como lince o lobos, y frecuentado esporádicamente por humanos (Sanz *et al.*, 2017).

Villagran *et al.*, (2017) proponen entender la acumulación y dinámica de los sedimentos en los que se encuentran los restos arqueológicos en el refugio de Lapa do Santo, Brasil. En él se hallaron más de 30 enterramientos humanos muy bien conservados y restos de hogares. Los minerales de la arcilla fueron calentados por encima de los 500-600°C, Se observa que las cenizas formaban una gran parte del depósito arqueológico, y que estas fueron mezclándose con la tierra que caía continuamente desde el borde del precipicio y acabaron por formar una mezcla de sedimentos de casi 5 metros de potencia (Villagran *et al.*, 2017).

Otro estudio relacionado con la arqueología experimental es el de Kreimerman y Shahack-Gross, (2019) donde el objetivo era encontrar patrones que ayudaran a la interpretación arqueológica de eventos relacionados con incendios. Para ello fabricaron varias estructuras asemejando a un edificio de una sola planta, unas cubiertas con techumbre vegetal y otra vegetal pero recubierta con barro, y las prendieron fuego. Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros, el color de las paredes y del techo, la distribución del hollín y las cenizas y el grosor de los escombros. Observando el color que presentaban los ladrillos de adobe y tras analizarlos con la técnica FTIR, se muestra que el color rojizo se corresponde con temperaturas expuestas de 500-700°C, las partes negruzcas a menos de 500-600°C y los que aún conservaban el color marrón original a menos de 500°C (Figura 9). Como conclusiones extrajeron que son las partes superiores de las paredes y el techo las zonas que más altas temperaturas alcanzan y durante más tiempo (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019), como se ha podido constatar en el yacimiento de Tel Lachish (Kreimerman *et al.*, 2022). También se espera que el carbón depositado sea de la estructura y no del suelo, ya que este no llega a alcanzar los 500°C. Se observa que la sección de la pared presentaba un gradiente de colores, desde rojizo, a negro y marrón, el color original del adobe, según la temperatura ha ido afectado a la estructura. Por último, a tener en cuenta que las paredes interiores eran quemadas desde ambas direcciones y las exteriores solo en una, por lo que si el gradiente de color es asimétrico, implica que la pared ha sido calentada por un solo lado, y si es simétrico la pared ha sido calentada por ambos lados durante un corto periodo de tiempo. Si el tiempo se alarga la pared obtiene un tono uniforme al quemarse del todo (Kreimerman y Shahack-Gross, 2019).

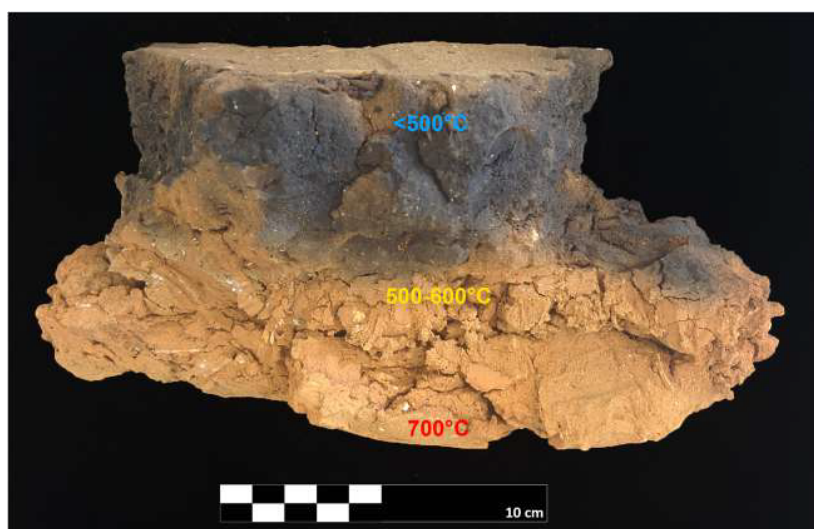


Figura 9. Asociación entre el color del adobe y las temperaturas alcanzadas. Adaptado de Kreimerman y Shahack-Gross, (2019).

Por último, presentamos el estudio realizado en el templo de Lachish, en el sur de Israel, por Kreimerman *et al.*, (2022). Se plantea una interpretación conjunta desde distintas aproximaciones para la reconstrucción de incendios en estructuras construidas en adobe. Se analizaron un total de 177 muestras procedentes de los depósitos suelo, de los depósitos de cenizas, adobes y piedras de la parte baja de la pared y se compararon con los adobes de calibración. Los resultados (Figura 10) mostraron que el interior de los adobes fue calentado de manera uniforme a 500°C y el nivel del suelo no fue expuesto a temperaturas mayores de 500°C. La parte inferior de las paredes que estaban formadas por piedra muestran una exposición mayor a 650°C, fueron calcinadas y convertidas en limo. Las altas temperaturas alcanzadas, así como la evidencia de una gran cantidad de combustibles orgánicos, permiten ubicar el posible foco del incendio y parece indicar que se alcanzó la etapa de completo desarrollo. Los gases calientes probablemente se extendieron desde el techo hasta las zonas que muestran exposición a altas temperaturas durante un corto periodo de tiempo, por el material carbonizado a media combustión y la escasez de cenizas. Utilizando distintas aproximaciones los resultados de este estudio resultaron muy completos ya que se consiguió identificar las áreas donde el fuego se desarrolló por completo, las zonas de origen del fuego y la duración relativa del fuego en diferentes áreas arquitectónicas, lo que a su vez permitió reconstruir el camino de propagación del fuego (Kreimerman *et al.*, 2022).

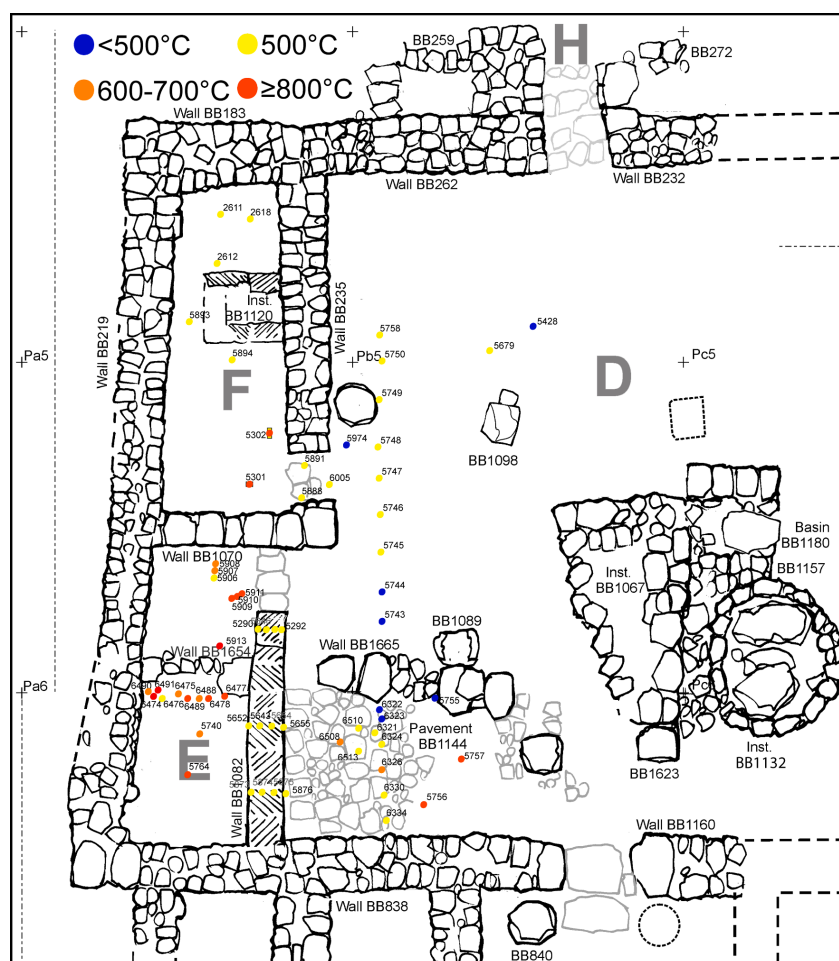


Figura 10. Planta del Templo de Lachish con las ubicaciones de las muestras analizadas y las temperaturas a las que estuvieron expuestas. Adaptado de Kreimerman *et al.*, (2022).

VI. PROPUESTA DE APLICACIÓN EN EL YACIMIENTO TARTÉSICO DEL TURUÑUELO (GUAREÑA, BADAJOZ)

VI. A EL YACIMIENTO DEL TURUÑUELO

Es un yacimiento tartésico muy importante dentro del marco de la protohistoria peninsular. Fue destruido y cubierto por un túmulo durante un evento de conflagración en el cual se realizó un gran banquete. Se llevaron a cabo sacrificios animales y materiales, se incendió y terminó con la colmatación de las distintas estancias del edificio.

El territorio de Tarteso se asocia tradicionalmente a la zona del valle de Guadalquivir (Cádiz, Sevilla, Huelva) y a un marco temporal comprendido entre los siglos VIII a.C. y VI a.C. Por lo que, si hablamos de que el yacimiento de Casas del Turuñuelo se sitúa en el valle

del Guadiana, concretamente en Guareña (Badajoz), el fin del edificio está datado a finales del siglo V a.C. y lo consideramos como perteneciente a la cultura tartésica, parece salirse de la norma. Esto es así porque la zona del valle del Guadalquivir es considerada como el núcleo de Tarteso, pero la influencia de la cultura tartésica se extendió más allá de estas fronteras, hacia el valle Medio del Guadiana, donde se encuentra situado nuestro caso de estudio, y otros yacimientos, como el santuario de Cancho Roano, Cerro Borreguero o la necrópolis de Medellín, conformando la periferia de Tarteso (Rodríguez y Celestino, 2019). La periferia muestra ciertas particularidades propias en comparación con el núcleo de tartesos, que hunden sus raíces en el sustrato indígena que muestran estas tierras (Rodríguez y Celestino 2017b). Para más información sobre los tartessos consultar (López-Ruiz y Celestino, 2016; López-Ruiz y Celestino, 2020).

El territorio que denominamos periferia de Tarteso está compuesto por un entramado territorial de diversos tipos de construcciones que se distribuyen en torno al río Guadiana, actuando éste como hilo conector y de comunicación (Rodríguez, 2018). En primer lugar, tenemos que destacar las construcciones denominadas como edificios ocultos bajo túmulos (Rodríguez y Celestino, 2017a), característicos del valle medio del Guadiana. Fueron incendiados y ocultados, siendo el caso de Cancho Roano y La Mata, las únicas construcciones excavadas en extensión (Rodríguez y Celestino, 2017b). Aunque de entre los edificios tumulares que se conocen, destaca sin duda nuestro caso de estudio, las casas del Turuñuelo, gracias a su gran estado de conservación. Y aunque no parece que todos los edificios fueran coetáneos, sí que la clausura y sepultura se produjo en un mismo periodo, a finales del siglo V a.C., o quizá en los primeros años del siglo IV a.C. Por otro lado, nos encontramos un asentamiento en altura, El Tamborrio, que actúa como cabeza de territorio y cuya posición elevada hace suponer que tenía un papel económico y de control importante en la zona. Por último, situamos algunas necrópolis, pequeñas aldeas y granjas, dedicadas a la agricultura y ganadería (Rodríguez y Celestino, 2017a) (Figura 11).

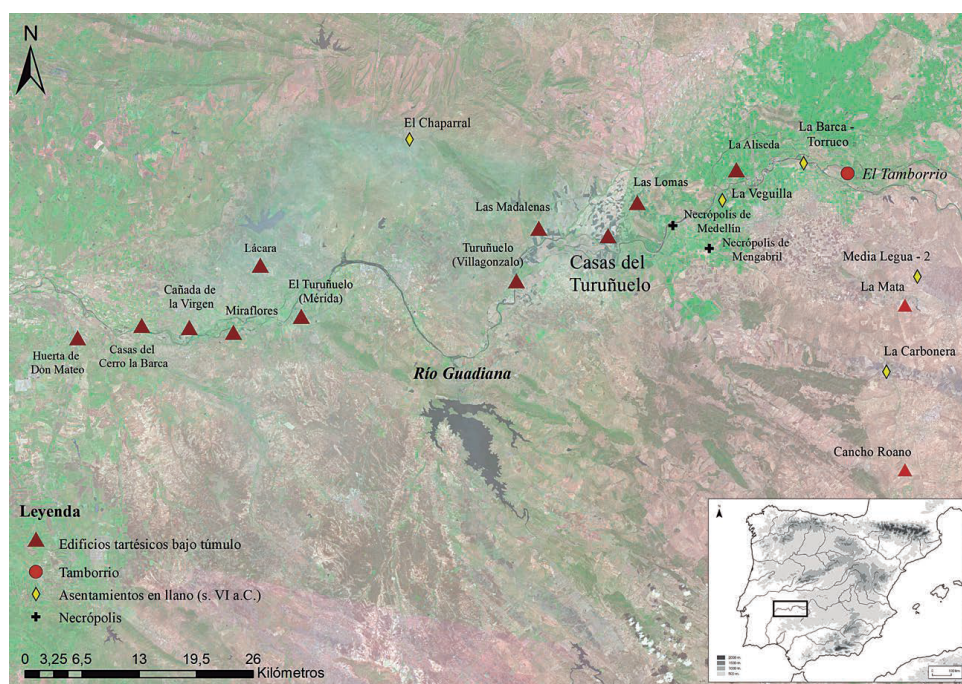


Figura 11. Mapa de la periferia de Tarteso en torno al río Guadiana. Adaptado de Rodríguez y Celestino, (2017).

Las razones por las que desapareció durante el siglo V a. C. el sistema territorial del valle del Guadiana aún son desconocidas. Tradicionalmente se atribuía como causa la conocida crisis del 400 a.C. (Rodríguez, 1994), pero no parece plausible si se tiene en cuenta la ausencia de indicios de violencia y armas en el mundo de Tarteso (Gracia, 2003), y el tiempo que hubiese requerido realizar todo el ritual de banquete, destrucción y colmatación. Parece algo más organizado y planeado, quizá relacionado con una migración territorial debido a un cambio ambiental en el entorno (Rodríguez y Celestino, 2017b).

De entre todo este paisaje de edificios protohistóricos, el Turuñuelo, destaca como hemos mencionado anteriormente por su magnífico estado de conservación. El edificio mantiene en pie sus dos plantas constructivas, hecho insólito en la arqueología protohistórica del Mediterráneo Occidental (Rodríguez y Celestino, 2017b), gracias a la colmatación de ambas plantas. Conserva en gran estado algunos elementos constructivos, como la gran escalinata que da acceso al patio o el pavimento, debido al cuidado que pusieron sus habitantes al poner fin al edificio. Y no solo es importante desde un punto de vista arqueológico por su conservación arquitectónica, sino por el elenco de materiales hallados, que no solo nos hablan de la importancia del enclave, sino que algunos de estos objetos son

únicos en el ámbito peninsular y nos amplían la visión y el conocimiento que se tenía del mundo de Tarteso (Rodríguez y Celestino, 2019).

Aunque el yacimiento de las Casas del Turuñuelo era conocido desde los años 80, estaba catalogado como un yacimiento romano. No fue hasta el año 2014 que comenzaron los trabajos arqueológicos que permitieron otorgar una cronología más adecuada, situándose en la I Edad del Hierro. A partir de ahí se han realizado varias intervenciones arqueológicas más, y todavía queda gran parte del edificio por excavar (Rodríguez y Celestino, 2017b), por lo que las hipótesis que se proponen podrían cambiar en un futuro ante los nuevos datos que arrojarán las habitaciones restantes.

Como hemos mencionado anteriormente el edificio consta de dos plantas. Se comenzó por la excavación de la planta superior, que hasta el momento nos presenta tres habitaciones completas. La gran escalinata desciende hacia la única parte excavada en la planta inferior, el patio, donde se sitúa la entrada al monumento y los restos óseos de numerosos animales colocados con sumo cuidado (Rodríguez y Celestino, 2019).

El edificio fue amortizado a finales del siglo V a.C. y los restos materiales y arquitectónicos hallados nos hablan de que previo a esta amortización se preparó y llevó a cabo un gran banquete, junto con la hecatombe de animales hallados en el patio (Celestino y Rodríguez, 2019). Es muy importante que mantengamos en mente este contexto cerrado ya que se trata de un evento ritual eventual, es decir, los restos arqueológicos nos hablan del momento en concreto en el que el edificio fue preparado por sus habitantes para su amortización, y no del uso cotidiano que el edificio pudo tener. Es realmente complejo separar este carácter ritual de los restos hallados, por lo que es aún más difícil considerar el papel que el edificio tendría en el área del valle del Guadiana (Rodríguez y Celestino, 2019).

La disposición de los materiales en las distintas estancias presenta una intencionalidad, lo que nos permite conocer el uso de las mismas y qué hechos pudieron suceder en cada una de las habitaciones durante el evento (Celestino y Rodríguez, 2019). A continuación, vamos a revisar las distintas estancias que conforman el edificio del Turuñuelo (Figura 12), comenzando por la de mayor tamaño.



Figura 12. Imagen aérea del Turuñuelo. Nota: Azul: Habitación 100; Rojo: vestíbulo y habitación del banquete; Amarillo: Patio. Elaboración propia adaptado de Rodríguez y Celestino, (2019).

La habitación H-100 puede considerarse la habitación principal del Turuñuelo debido a su disposición central en el edificio, a su gran tamaño y los objetos de uso hallados en ella. Su planta rectangular orientada este-oeste tiene un tamaño de 60 m, siendo la habitación de mayores dimensiones del yacimiento hasta la fecha y una de las mayores en toda la arquitectura tartésica. Los muros están compuestos por ladrillos de adobe de diferentes medidas y por cuatro tipos de arcilla. Están cubiertos por una capa de arcilla anaranjada que recibía la decoración, en este caso un enlucido que aún conserva en ciertas partes una decoración geométrica. La entrada a la habitación se sitúa en la parte oriental, en eje con la gran escalinata que da al patio, está enmarcada en dos pilares de ladrillos de arcilla que monumentalizan el acceso. La H-100 se divide en tres ámbitos, teniendo en cuenta la diversidad de los pavimentos y la arquitectura (Rodríguez y Celestino, 2017b).

El ámbito 1 se encuentra situado en la parte oeste, posee un pavimento realizado con baldosas de arcilla. Destaca uno de los elementos arquitectónicos, la denominada “pileta” semicircular de 80 cm de profundidad y que está encalada con carbonato cálcico. Se encontraron estelas de esparto que presentan la posibilidad de que todo el pavimento estuviera cubierto con ellas (Rodríguez y Celestino, 2017b).

El ámbito 2 es el central y el de mayor dimensión. En su centro aparece uno de los elementos más destacados de todo el yacimiento, una estructura realizada con adobes que posee una forma de piel de toro extendida y un tamaño de 2,30 m x 1,31 m, la más grande

encontrada hasta la fecha. Sus grandes dimensiones impiden la circulación por el centro de la sala, por lo que solo quedan los laterales para transitar. Todo parece indicar que se llevaron a cabo cremaciones en él y posteriormente las cenizas fueron barridas, de hecho, durante la excavación aún quedaba una piel carbonizada intacta (Rodríguez y Celestino, 2017b). Este hallazgo es de vital importancia ya que nos otorga información sobre la posible funcionalidad como santuario del edificio.

Por último, en el ámbito 3 se encuentra el acceso a la habitación. Posee un pavimento formado por arcilla apisonada y cubierto por lajas de pizarra muy deterioradas a causa del incendio. Como elementos arquitectónicos a destacar encontramos un pedestal en forma de U realizado con adobes forrados por lajas de pizarra, sobre el que se encuentra un bloque de cal que por su forma y tamaño interno parece una “bañera” o un sarcófago, aunque al no presentar paralelos es difícil de identificar. También aparece un banco adosado al muro que conserva unas dimensiones de 5,66 x 0,66 m y que conecta los tres ámbitos de la habitación (Rodríguez y Celestino, 2017b).

Uno de los rasgos más significativos de este yacimiento es la techumbre utilizada, se plantea una falsa bóveda realizada por aproximación de hiladas, ya que debido al tamaño y a la ausencia de vigas no se podría haber sostenido un techo plano de madera, modelo de techumbre conocido hasta la fecha para este tipo de construcciones (Rodríguez y Celestino, 2017b). La mayor parte de los materiales recogidos se corresponden con cerámicas, principalmente cuencos y platos. El análisis de difracción de rayos X realizado por la Universidad de Granada dio como resultado que las arcillas utilizadas para fabricar estos platos fueron las mismas utilizadas para la fabricación de los adobes de los muros, todo parece indicar que fueron fabricados en el propio entorno del yacimiento. También aparecieron restos de metales, correspondientes a varios braseros de bronce. Por otro lado, destacan la aparición de un betilo en piedra, una caja con placas de marfil con decoración incisa y una placa de marfil que destaca por estar decorada con hilo de oro conservado en gran estado gracias al incendio, que favoreció su adhesión a la pieza (Rodríguez y Celestino, 2017b) (Figura 13).

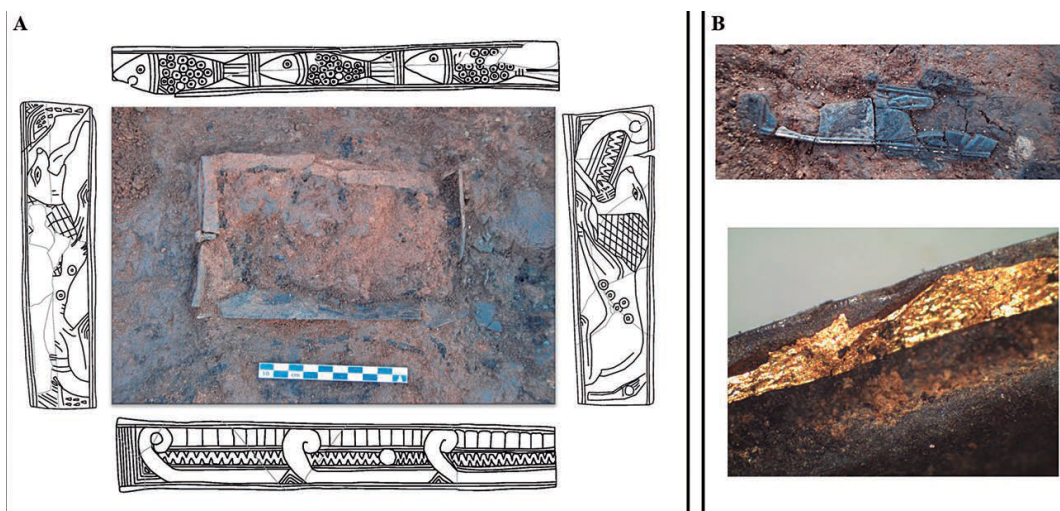


Figura 13. Objetos destacados encontrados en la habitación 100 del Turuñuelo. Nota: A. Caja con decoración incisa; B. Fragmento de marfil con decoración con hilo de oro. Adaptado de Rodríguez y Celestino, (2017).

La habitación S.I, presenta dos áreas distintivas, una un vestíbulo de 12,5m² que conecta al oeste con la H-100 por tres escalones, y la llamada habitación del banquete. Es denominada de esta forma debido a que presenta evidencias de la preparación y celebración de un gran banquete que se realizó previo a la amortización del edificio (Rodríguez y Celestino, 2019).

El vestíbulo se considera uno de los posibles focos iniciales del incendio, ya que por el estado de los materiales encontrados se considera que se tuvieron que alcanzar temperaturas muy altas en esa área. Por ejemplo, las ánforas halladas estaban en estado de vitrificación a causa de la temperatura. El vestíbulo conecta al sur con la habitación del banquete, donde se encontró un timiaterio de bronce con patas de león muy afectado por la oxidación, utilizado para la quema de esencias (Rodríguez y Celestino, 2019). Aparecieron 43 pesas de telar y distintas ofrendas de semillas, una incluso conservaba el saquito de lino que la contenía. Para más información sobre el estudio de los textiles hallados consultar Marín-Aguilera *et al.*, (2019).

La habitación del banquete presenta un tamaño de 20,4m² y una forma cuadrangular. Junto con el acceso norte al vestíbulo tiene dos más, uno al oeste, interpretado como una habitación paralela a la H-100 y donde pudo llevarse a cabo el acto del banquete, y otro al este, que parece una posible ventana debido a la altura a la que se sitúa respecto al patio. El estado de conservación no es muy bueno a causa de que la planta inferior no está perfectamente colmatada, por lo que los suelos están hundidos parcialmente. El desnivel del

suelo es muy evidente en esta habitación, es de hasta medio metro en algunos puntos respecto a la pared. También contribuye al mal estado de conservación la excavación de una fosa de 1,76 m de largo en el centro de la habitación que parece que se realizó previa al banquete para ser utilizada de basurero, principalmente se encontraron partes de vajilla, desperdicios y restos de los sacrificios del banquete. Por otro lado, tras el análisis micro-estratigráfico del suelo se aprecia un uso continuo del espacio, y dedicado principalmente al preparado y cocina de alimentos y a su consumo, por lo que el espacio no solo tuvo este uso para el banquete sino que constituía su uso cotidiano. Presenta dos hogares en pobre estado de conservación el UE 529 y el UE 526, en ellos se han podido encontrar numerosas cenizas que indican que pudo haber estado en funcionamiento durante el banquete. Se interpreta el hogar UE 529 como un altar de sacrificios debido a su forma de piel de toro, y el UE 526 donde se prepararon y cocinaron los alimentos para el banquete, debido a que a su alrededor hay una gran cantidad de cenizas y restos orgánicos óseos, conchas, etc (Rodríguez y Celestino, 2019). También se encuentra la estructura UE 524 interpretada como una mesa de apoyo para el tratamiento de los alimentos. Los restos de cerámica encontradas corroboran la preparación, cocinado y realización del banquete, con cerámicas clasificadas como de cocina, de almacenaje y de servicio de mesa. En cuanto a piezas del metal destacan un caldero de bronce que constituye el único encontrado completo en el mundo tartésico, una parrilla realizada en bronce y que es la única fabricada en este material en toda la protohistoria del suroeste y un colador de bronce que es el primero que se consigue hallar completo. Otro objeto de gran valor es un mango con decoración en forma de piel de toro y palomas, que desprende un gran simbolismo y se interpreta como el extremo de un báculo (Rodríguez y Celestino, 2019). Una parte importante del banquete es el espacio dedicado a las divinidades, con actos que pueden llevar desde sacrificios de animales hasta libaciones o tomas de vino. Los restos arqueológicos encontrados, como el altar con forma de piel de toro o piezas cerámicas y metálicas que pudieron contener los líquidos procedentes de las libaciones, junto con el hallazgo de un betilo tintado en rojo, parece esclarecer que este tipo de rituales se llevaron a cabo durante el banquete (Rodríguez y Celestino, 2019).

Otro de los espacios que nos encontramos en el Turuñuelo y uno de los más destacados es el patio. Posee unas dimensiones de casi 125 m² y está delimitado por cuatro grandes muros. Tres de estos muros dan acceso a otras habitaciones que aún no han sido excavadas, pero se pueden observar los vanos que darían acceso a ellas. Uno de los vanos hallados en el alzado norte presenta indicios de haber tenido una estructura de ladrillo rojo

que sostendría el dintel de la puerta, y que fue destruido durante la destrucción del edificio, ya que aparecieron partes del mismo sobre los restos de animales. En el vano que se abre en el alzado este se ha excavado lo que parece un rellano y un pasillo que recorre la zona este y sur del patio, y se teoriza que sería el acceso principal al edificio. El alzado sur solo se ha excavado parcialmente y es el que más afectado por la destrucción se encuentra, no presenta vanos. Finalmente, el alzado oeste corresponde a la fachada del edificio y dispone de la escalera monumental que da acceso a la planta superior (Celestino y Rodríguez, 2019). El pavimento original queda protegido por un pavimento de arcilla apisonada cubierto por otro de guijarros trabados por un limo verdoso. Parece que estos pavimentos fueron dispuestos previos a la colocación de los animales, como una forma de proteger el pavimento original del incendio y de la destrucción. El original se muestra ligeramente en ciertas cotas de la escalera, y es una arcilla plástica muy parecida a la hallada en otros yacimientos tartésicos, como Cancho Roano (Celestino y Rodríguez, 2019). Desde la escalera sale una calzada enlosada de 10,39 m de largo y 2,50 m de ancho en pizarra que llega hasta el vano que parece ser la entrada al edificio. Uno de los elementos más llamativos del patio es una caja de pizarra que serviría para la evacuación del agua en el patio. Su hallazgo es único ya que no se han encontrado paralelos aún. La caja fue rellena antes de la deposición de los animales ya que se observa que fueron colocados parcialmente encima. En los estratos inferiores de la caja aparecieron restos de cenizas, carbones y semillas, junto con los restos de dos asadores de bronce, que habrían sido utilizados para el cocinado de carne durante el evento del banquete. De la caja sale una atarjea de pizarra que cruza todo el patio en dirección norte, y que pasa por debajo de la calzada de pizarra (Celestino y Rodríguez, 2019).

La escalera es sin duda el elemento más remarcable del patio, tiene unas dimensiones de 2,94 m de altura y 3,14 m de profundidad. Nos ha llegado hasta ahora en un estado de conservación tan magnífico porque antes del incendio se cubrió con una arcilla amarillenta muy plástica, parecida a la utilizada a posterior para cubrir el túmulo, y que la ha protegido muy bien. Los cinco escalones superiores están conformados por grandes losas de pizarra y los seis inferiores con bloques realizados con mortero de cal. La construcción de la escalera con mortero de cal convierte al Turuñuelo en el único caso en la Protohistoria peninsular (Celestino y Rodríguez, 2019). En cuanto a materiales aparecieron pocos pero muy relevantes, junto a la escalinata se encontraron tres ungüentarios, un sistema ponderal (Celestino y Rodríguez, 2019) envuelto en lana, siendo la primera vez que aparece este tejido en la Península Ibérica (Marín Aguilera, *et al.*, 2019), semillas y varias piezas cerámicas.

También aparecieron restos de dos cabezas de caballo y un bocado de hierro. En el primer peldaño de la escalera apareció un conjunto de materiales de origen griego, como cuencos de vidrio y la parte inferior de una escultura de mármol (Figura 14), constituyendo la más antigua encontrada hasta la fecha encontrada en la Península Ibérica (Celestino y Rodríguez, 2019). Los restos de fauna se interpretan como un gran sacrificio como parte del banquete y del acto final del edificio. Los restos fueron colocados con sumo cuidado en el patio e incluyen a 52 équidos, 4 bóvidos, 3 suidos y 1 cánido (Celestino y Rodríguez, 2019) (Figura 15).



Figura 14. Conjunto de materiales de origen griego. Adaptado de Celestino y Rodríguez, (2019).

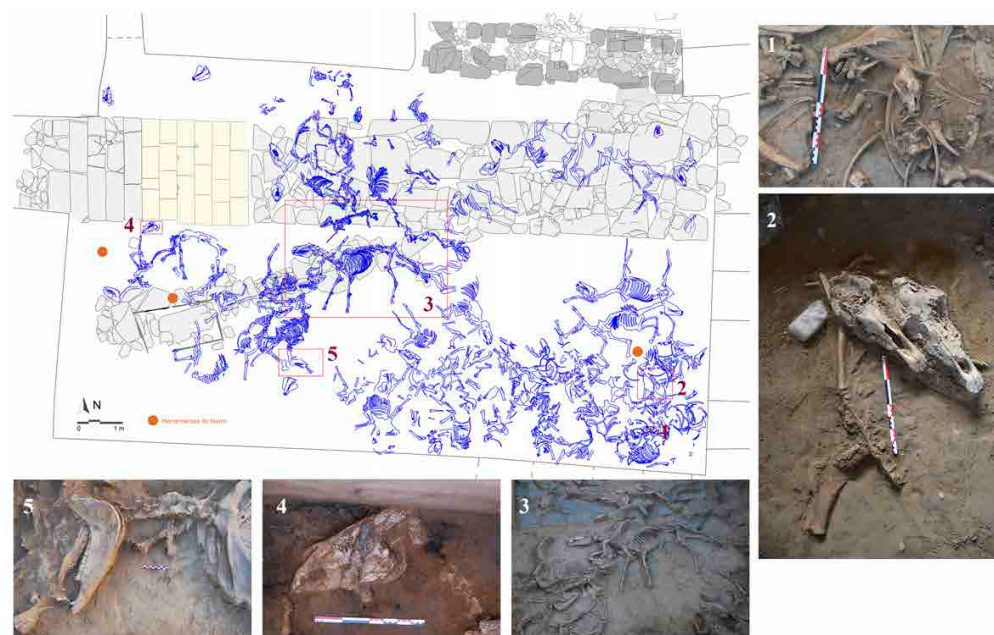


Figura 15. Disposición de los restos de animales en el patio. Adaptado de Celestino y Rodríguez, (2019).

Analizando las distintas unidades estratigráficas del edificio se constata que se incendió y después fue colmatado con restos de materiales y restos constructivos, todo en un mismo momento. La bañera es un buen ejemplo, ya que excepto la base de la misma, el resto fue encontrado en distintos fragmentos esparcidos en diversos niveles estratigráficos y cotas (Rodríguez y Celestino, 2017b). En el caso de las habitaciones se observa que se colmataron todas en un mismo momento, presentando una única unidad estratigráfica de relleno. En cambio, el patio debido a sus grandes dimensiones (casi 125 m²) se constata que se realizó en varias fases (Celestino y Rodríguez, 2019).

En cuanto a las evidencias de incendio, el yacimiento presenta un estrato de incendio generalizado, pero aparecen varios focos donde el incendio fue más intenso, como en el patio el hallado entre la escalera y el muro septentrional. Este foco afectó al conjunto de pesos ponderales de bronce, fundiéndose, y carbonizando el paño de lana en el que se encontraron. También afectó a uno de los cuencos hallados en el primer peldaño, que se convirtió en arena a causa del fuego (Celestino y Rodríguez, 2019). Otro de los focos parece estar en el vestíbulo, donde tanto el suelo de pizarra como los materiales hallados se encuentran muy afectados por el fuego, y la madera aparece carbonizada. Las ánforas llegaron a vitrificar. Se plantea que la techumbre, al menos en la habitación del banquete, sería vegetal impermeabilizada con barro (Rodríguez y Celestino, 2019). De la H-100 en Rodríguez y Celestino, (2017b) el único objeto que se menciona haber sido afectado por el fuego fue el fragmento de marfil decorado con hilo de oro.

VII. B. PROPUESTA DE APLICACIÓN

Como hemos mencionado anteriormente, el Turuñuelo es un yacimiento que presenta todos los elementos para ser estudiado con el FTIR, ya que se trata de un yacimiento tipo tell con un nivel de destrucción que presenta indicios claros de incendio. El incendio está relacionado con el evento de desamortización del edificio, donde se llevó a cabo un gran banquete, un masivo sacrificio de animales, el incendio y después la colmatación de las distintas estancias, para terminar con la construcción del túmulo y el cubrimiento del mismo (Celestino y Rodríguez, 2019).

Teniendo en cuenta lo revisado y aprendido acerca de los métodos de investigación aplicados a los restos quemados en arqueología y los fundamentos y protocolos analíticos de

la técnica FTIR, se va a realizar una propuesta de aplicación de esta técnica (FTIR) para el estudio del incendio que formó parte del evento que puso fin al edificio del Turuñuelo.

El objetivo de la propuesta es poder reconstruir el incendio, conociendo la distribución del calor, tanto en paredes, sedimentos y adobes, e identificar el/los focos de origen. Para ello se pretende conocer la temperatura máxima a la que estuvieron sometidas las muestras a analizar mediante FTIR. En definitiva, se pretende conocer tanto la intensidad del fuego y su dispersión, como la distribución de cenizas, carbones y hollín.

En el yacimiento del Turuñuelo se propone un muestreo mediante cuadrícula de 0,5 x 0,5m en todas las estancias, tanto en la H-100, como en el vestíbulo, habitación del banquete y en el patio, para comprender la dinámica del incendio en todo el yacimiento. También se propone realizar un levantamiento fotogramétrico para ubicar cada una de las muestras. La recogida de muestras se haría aproximadamente en el centro de la cuadrícula, extrayendo 1 gramos de muestra y reuniéndolas en tubos de Eppendorf. Es indispensable mantener un buen registro de las muestras, nombrando teniendo en cuenta siempre registrar la localización de cada una de las muestras a través de registro fotográfico y de métodos de geolocalización, siendo todo recogido en fichas de registro.

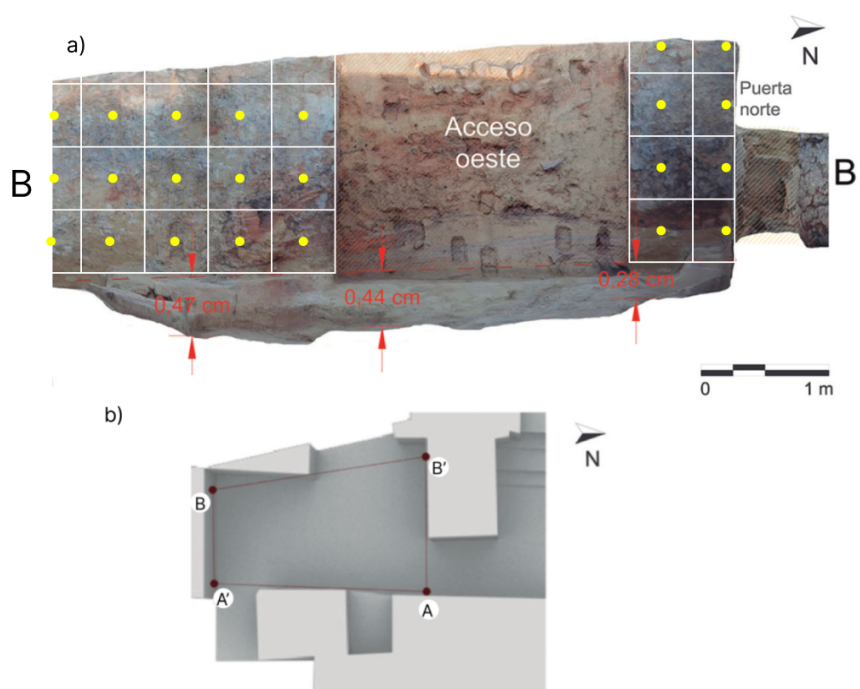


Figura 16. Propuesta de extracción de muestras en la habitación del banquete. Nota: a) Muro oeste, extracción de una muestra por cuadrícula. b) Plano de la habitación del banquete. Elaboración propia adaptado de Rodríguez y Celestino, (2019).

Como se ha revisado en puntos anteriores, algunas paredes del Turuñuelo están cubiertas por una capa de arcilla anaranjada que es la que cargaría con el enlucido de la decoración. En este caso, si fuera posible por motivos de conservación, se extraería utilizando una barrena muy fina una pequeña muestra, que posteriormente se separaría en cada una de las capas. Si no fuera posible, se extraerá una muestra únicamente de la capa más exterior. En la ficha de registro de cada muestra será importante anotar la capa de la que procede, ya que hay que tener en cuenta que al tener una composición distinta su respuesta ante el fuego será diferente desde el punto de vista de las transformaciones minerales.

También se propone prestar atención a la coloración de los adobes en las paredes, tanto en la parte externa como interna, si esta es posible, para observar si aparece algún gradiente de color debido al calor. Por lo que, si cabe la posibilidad de extraer alguna muestra del interior de los adobes, por un corte en la pared, también se extraerá.

Para comenzar con el análisis de FTIR en primer lugar, se realizaría una prueba de calibración en el yacimiento. En este caso utilizamos como referencia el estudio de Kreimerman *et al.*, (2022). Se llevará a cabo una recogida de suelos y sedimentos locales, empleando cartografía geológica del entorno del asentamiento que representen todas las unidades litológicas locales. Se extraen varias muestras de unos 0,5cm de diámetro y se calientan en un horno de laboratorio a diferentes temperaturas, 500, 600, 700, 800 y 900 °C, y en distintas condiciones, tanto oxidantes como reductoras, para ello las muestras serán calentadas en un crisol de porcelana, unas tal cual para un ambiente oxidante y otras envueltas en papel de aluminio para conseguir el ambiente reductor. Una vez alcanzada la temperatura objetivo se mantiene durante dos horas. Tras esto se dejan enfriar las muestras durante una noche. Las muestras de calibración servirán para comprender cómo se comportan las arcillas utilizadas en el yacimiento ante las altas temperaturas.

Para el análisis de las muestras extraídas de las cuadrículas estas se prepararán con el método de bromuro de potasio (KBr), consultado en Weiner, (2010). La muestra se lleva al mortero utilizando una espátula, después se muele y se extrae una muestra representativa. Hay que tener en cuenta que no se debe moler en exceso para que no cree distorsiones en el espectro infrarrojo. Se mezcla con 50 miligramos de KBr ultra puro preparado para

espectroscopía infrarroja. La mezcla resultante se coloca en un molde especial para prensa manual o hidráulica. El disco resultante ya estaría listo para ser colocado en el haz del espectrómetro infrarrojo. Una vez obtenido el espectro infrarrojo de las muestras del yacimiento se comparan con las de calibración. El resultado de la interpretación del espectro indicará a qué temperaturas máximas estuvo expuesta la muestra.

Por lo tanto, los resultados del FTIR ayudarán a entender cómo fue la dinámica general del incendio y cómo se comportó en las distintas estancias. Para ello se creará un mapa de calor utilizando el levantamiento fotogramétrico previamente realizado como cartografía base, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). El mapa de calor atenderá a los cambios de temperatura en las distintas alturas de los muros y a los focos localizados de mayor temperatura en suelos. En el mapa se deberá marcar también la situación de cenizas y restos carbonizados, ya que aportarán información sobre si la combustión fue corta o de larga duración, y si hubo oxígeno o no disponible.

VIII. CONCLUSIONES

Como hemos podido ver en este trabajo el uso del FTIR para estudiar casos de incendio en la antigüedad es adecuado ya que a partir de conocer la temperatura máxima a la que estuvieron sometidos adobes y sedimentos se puede reconstruir la dinámica del incendio en edificios de adobe, y conocer datos como duración, intensidad y focos de inicio. De igual manera, el uso conjunto del FTIR con otro tipo de aproximaciones, como el uso de conceptos provenientes de la investigación de incendios actuales, de observación macroscópica y de la arqueología experimental y otras técnicas, como la micro-estratigrafía puede ayudar para una correcta interpretación de los datos y un mayor abanico de información.

También cabe destacar que a través de conocer la historiografía del uso del FTIR se puede observar una evolución. Cada vez se está construyendo un marco metodológico más completo para el estudio y reconstrucción de incendios en edificios de adobe que permite unas interpretaciones más detalladas.

En el caso del Turuñuelo el uso del FTIR y la aplicación de conceptos y dinámicas de incendios aplicables a yacimientos de la antigüedad puede aportar mucha información sobre el incendio, que formó parte de la clausura del edificio, y ayudar a comprender mejor el gran evento de desamortización que los habitantes del Turuñuelo llevaron a cabo. También podría

arrojar algo de luz para comprender las razones de la desaparición del sistema territorial del valle del Guadiana durante el siglo V a.C.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Berna, F. (2017). FTIR Microscopy. En Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* (pp. 411–415). John Wiley & Sons, Ltd.

Berna, F., Behar, A., Shahack-Gross, R., Berg, J., Boaretto, E., Gilboa, A., Sharon, I., Shalev, S., Shilstein, S., Yahalom-Mack, N., Zorn, J.R., Weiner, S. (2007). Sediments exposed to high temperatures: reconstructing pyrotechnological processes in Late Bronze and Iron Age strata at Tel Dor (Israel). *Journal of Archaeological Science*, 34(3), 358-373.

Berna, F., Goldberg, P., Kolska Horwitz, L., Brink, J., Holt, S., Bamford, M., Chazan, M., (2012). Microstratigraphic Evidence of in situ Fire in the Acheulean Strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape Province, South Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(20), E1215–E1220.

Boaretto, E. (2015). Radiocarbon and the archaeological record: an integrative approach for building an absolute chronology for the Late Bronze and Iron Ages of Israel. *Radiocarbon* 57(2), 207–16.

Braadbaart, F. y Poole, I. (2008). Morphological, Chemical and Physical Changes during Charcoalification of Wood and Its Relevance to Archaeological Contexts. *Journal of Archaeological Science* 35(9), 2434-2445.

Celestino Pérez, S. y Rodríguez González, E. (2019). Un espacio para el sacrificio: el patio del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). *Complutum*, 30(2), 343-366.

Celestino Pérez, S. y López-Ruiz, C. (2020). *Tarteso y los fenicios de occidente*. Almuzara.

Chu, V., Regev, L., Weiner, S., Boaretto, E. (2008). Differentiating between anthropogenic calcite in plaster, ash and natural calcite using infrared spectroscopy: implications in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 905-911.

De Haan, J.D. y Icove, D.J. (2014). *Kirk's Fire Investigation*. Pearson.

Forget, M.C.L., Regev, L., Friesem, D.E., Shahack-Gross, R. (2015). Physical and Mineralogical Properties of Experimentally Heated Chaff-Tempered Mud Bricks: Implications for Reconstruction of Environmental Factors Influencing the Appearance of Mud Bricks in Archaeological Conflagration Events. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2, 80–93.

Forget, M.C.L. y Shahack-Gross, R. (2016). How Long Does it Take to Burn Down an Ancient Near Eastern City? The Study of Experimentally Heated Mud-Bricks. *Antiquity*, 90(353), 1213-1225.

Gracia, F. (2003). *La guerra en la protohistoria. Héroes, nobles, mercenarios y campesinos*. Ariel Prehistoria.

Hlubik, S., Berna, F., Feibel, C., Braun, D., Harris, J.W.K. (2017). Researching the Nature of Fire at 1.5 Mya on the Site of FxJj20 AB, Koobi Fora, Kenya, Using High-Resolution Spatial Analysis and FTIR Spectrometry. *Current anthropology: A world journal of the sciences of man*, 16, 243–257.

Kreimerman, I., Garfinkel, Y., Hasel, M.G., Shahack-Gross, R. (2022) High resolution investigation of a conflagration event in the North-East Temple at Lachish via integration of forensic, stratigraphic and geoarchaeological evidence: A model for studying architectural destruction by fire. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 46(3-4), 103705.

Kreimerman, I., Shahack-Gross, R. (2019). Understanding Conflagration of One-story Mud-brick Structures: An Experimental Approach. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(1), 2911–2928.

Marín-Aguilera, B., Rodríguez González, E., Celestino Pérez, S., Gleba, M. (2019): “Dressing the sacrifice: textiles, textile production and the sacrificial economy at Casas del Turuñuelo in fifth-century BC Iberia”. *Antiquity*, 93, 933-953.

Namdar, D., Zukerman, A., Maeir, A.M., Katz, J.C., Cabanes, D., Trueman, C., Shahack-Gross, R., Weiner, S. (2011). The 9th Century BCE Destruction Layer at Tell es-Safi/Gath, Israel: Integrating Macro- and Micro-archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 38, 3471–3482.

López-Ruiz, C. y Celestino Pérez, S. (2015). *Tartessos and the Phoenicians in Iberia*. Oxford University Press.

Ohlemiller, T.J. (2002). Smoldering Combustion. En DiNenno, P.J., Drysdale, D., Beyler, C.L., Walton, W.D., Custer, R.L.P., Hall, J.R.J., Watts, J.M.J. (Eds.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, (pp. 2200–2210). Quincy, MA.

Passerini, A., Regev, L., Rova, E., Boaretto, E. (2016). New Radiocarbon Dates for the Kura-Araxes Occupation at Aradeti Orgora, Georgia. *Radiocarbon* 1(3), 1-29.

Quintiere, J.G. (2006). *Fundamentals of Fire Phenomena*. John Wiley & Sons.

Regev, L., Cabanes, D., Homsher, R., Kleiman, A., Weiner, S., Finkelstein, I., Shahack-Gross, R. (2015). Geoarchaeological Investigation in a Domestic Iron Age Quarter, Tel Megiddo, Israel. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research*, 374(374), 135–157.

Regev, L., Poduska, K.M., Addadi, L., Weiner, S., Boaretto, E. (2010). Distinguishing Between Calcites Formed by Different Mechanisms using Infrared Spectrometry: Archaeological Applications. *Journal of Archaeological Science*, 37(12), 3022-3029.

Rodríguez Díaz, A. (1994). Algunas reflexiones sobre la caída de Tartessos y el desarrollo de la Beturia prerromana. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 21, 9-34.

Rodríguez González, E. y Celestino Pérez, S. (2017a). El valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro: una nueva lectura sobre su organización territorial. En Celestino Pérez, S. y Rodríguez González, E. (Eds.), *Territorios Comparados: los valles del Guadalquivir, el Guadiana y el Tago en época tartésica: reunión científica, Mérida (Badajoz, España)* (pp. 213-236). Anejos del Archivo Español de Arqueología LXXX.

Rodríguez González, E. (2018). *El poblamiento del valle medio del Guadiana durante la I Edad del Hierro*. Editorial CSIC.

Rodríguez González, E., y Celestino Pérez, S. (2017b). Las estancias de los dioses: la habitación 100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 43, 179-194.

- Rodríguez González, E., y Celestino Pérez, S. (2019). Primeras evidencias de un banquete: análisis arquitectónico y material de la estancia S-1 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 45, 179-202.
- Rodríguez-Cintas, A. y Cabanes, D. (2015). Phytolith and FTIR Studies Applied to Combustion Structures: The Case of the Middle Paleolithic Site of El Salt (Alcoy, Alicante). *Quaternary International*, 431, 16–26.
- Shoval, S. (1993) The burning temperature of a Persian-Period pottery kiln at Tel Michal, Israel, estimated from the composition of slag-like material formed in its wall. *Journal of Thermal Analysis*, 39, 1157-1168.
- Shoval, S. (1994) The firing temperature of a Persian-Period pottery kiln at tel Michal, Israel, estimated from the composition of its pottery. *Journal of Thermal Analysis*, 42, 175-185.
- Sanz, M., Daura, J., Egüez, N., Cabanes, D. (2017). On the Track of Anthropogenic Activity in Carnivore Dens: Altered Combustion Structures in Cova del Gegant (NE Iberian Peninsula). *Quaternary International*, 437, 102–114.
- Shalev, S., Shilstein, S., Yahalom-Mack, N., Zorn, J.R., Weiner, S. (2007). Sediments exposed to high temperatures: reconstructing pyrotechnological processes in Late Bronze and Iron Age strata at Tel Dor (Israel). *Journal of Archaeological Science*, 34, 358-373.
- Shoval, S., Erez, Z., Kirsh, Y., Deutsch, Y., Kochavi, M., Yadin, E. (1989). Determination of the Intensity of an Early Iron Age Conflagration at Tel-Hadar, Israel. *Thermochimica Acta*, 148, 485–492.
- Surovell, T.A. y Stiner, M.C. (2001). Standardizing infrared measures of bone mineral crystallinity: an experimental approach. *Journal of Archaeological Science*, 28, 633-642.
- Toffolo M. B. y Berna F. (2018). Infrared Absorption Spectroscopy (IR, FTIR, DRIFT, ATR). En López Varela S. L. (ed.), *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, (pp. 1-4). Wiley.
- Toffolo, M. B. y Boaretto, E. (2014) Nucleation of Aragonite upon Carbonation of Calcium Oxide and Calcium Hydroxide at Ambient Temperatures and Pressures: A New Indicator of Fire-Related Human Activities. *Journal of Archaeological Science*, 49, 237–48.

Toffolo, M.B. y Boaretto, E. (2014). Nucleation of Aragonite upon Carbonation of Calcium Oxide and Calcium Hydroxide at Ambient Temperatures and Pressures: A New Indicator of Fire-Related Human Activities. *Journal of Archaeological Science*, 49, 237–248.

Farmer, V.C. (1974) The Infrared Spectra of Minerals. *Mineralogical Society*.

Villagran, X.S., Strauss, A., Miller, C., Ligouis, B., Oliveira, R. (2017). Buried in Ashes: Site Formation Processes at Lapa do Santo Rockshelter, East-central Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 77, 10–34.

Weiner, S. (2010) Microarchaeology: beyond the visible archaeological record. *Cambridge University Press*.