

RESEARCH ARTICLE

TAMANCHÉ (YUCATÁN) A TRAVÉS DEL ANÁLISIS ARQUEOMÉTRICO DE SUS HORNOS DE CAL

Tamanche, Yucatan, through the Archaeometric Analysis of its Lime Kilns

**Soledad Ortiz-Ruiz,¹ O. G. de Lucio,² Avto Goguitchaichvili,³
Juan Morales,³ Dalia Paz Rivera,⁴ Ángel Góngora Salas,⁴
Miguel Cervantes,³ Rubén Cejudo,³ Francisco Bautista,⁵
Luis Barba Pingarrón⁶**

¹ Posdoctorado Conacyt, Instituto de Geofísica, UNAM, Campus Morelia, México; ² Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto de Física, UNAM, Ciudad de México; ³ Laboratorio Interinstitucional de Arqueomagnetismo (Servicio Arqueomagnético Nacional), Instituto de Geofísica, UNAM, Campus Morelia, México; ⁴ Centro INAH-Yucatán, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Mérida, México; ⁵ Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, Campus Morelia, México; ⁶ Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, Ciudad de México (olucio@ciencias.unam.mx)

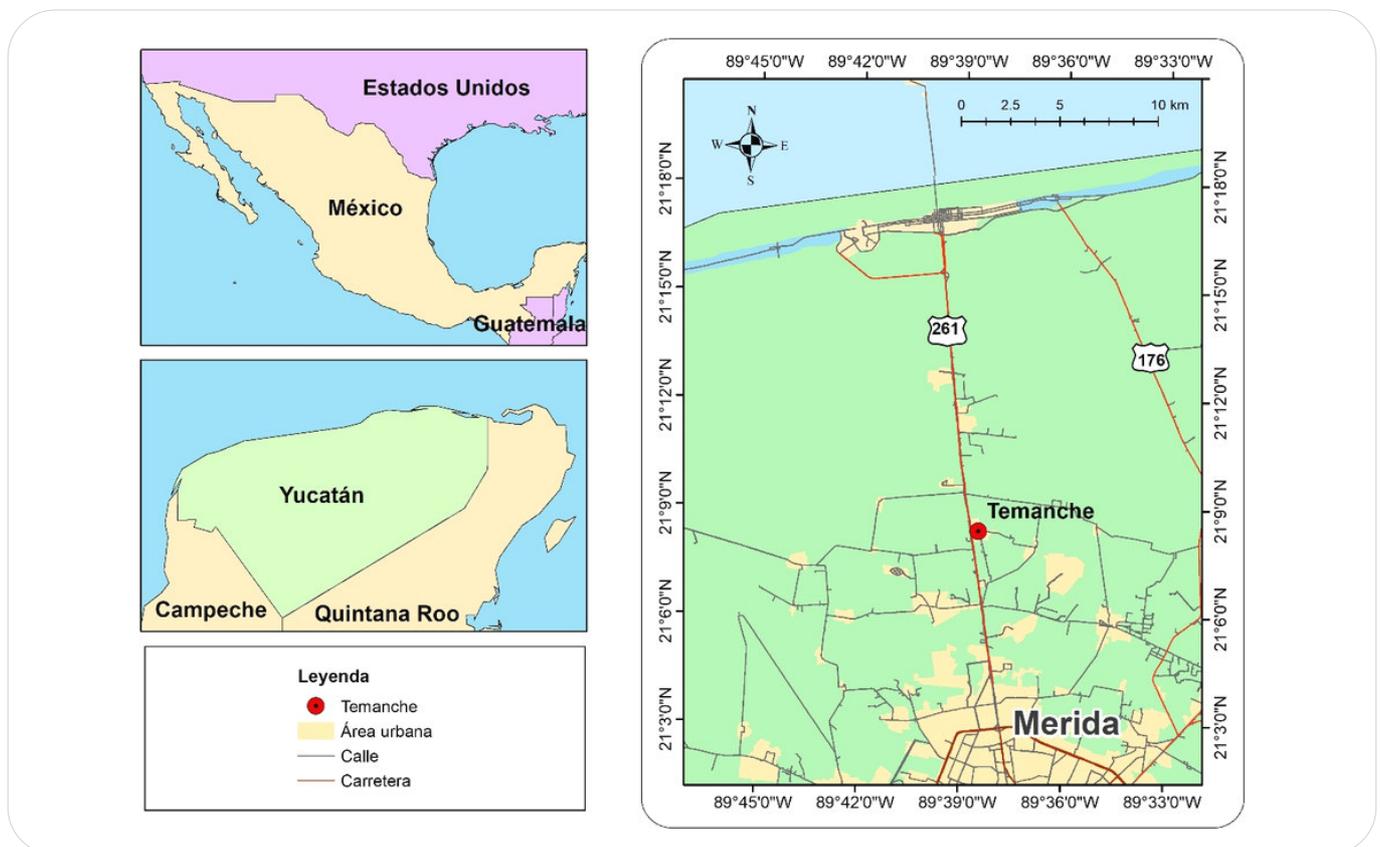


Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio.

Recibido: 17-12-2020. Aceptado: 28-1-2021. Publicado: 5-2-2021.

RESUMEN. Las investigaciones arqueológicas realizadas en el sector oeste de la comisaría de Tamanché, Yucatán, localizada al norte de Mérida, nos proporcionaron las muestras para realizar dataciones arqueomagnéticas de dos hornos de cal excavados en el sitio. Los hornos se hallaban en la periferia del sitio arqueológico, al suroeste del núcleo principal de Tamanché. Los contextos arqueológicos se encuentran en un espacio de múltiples ocupaciones y con evidencias de construcciones prehispánicas e históricas. En este artículo presentamos los resultados de las dataciones y análisis de las muestras recuperadas en dichos contextos, lo cual nos permite conocer la temperatura que alcanzaron los hornos al ser utilizados para producir cal, así como fechar el último momento de quema que se realizó en su interior. Los resultados de las dataciones nos indican un proceso de reutilización de los hornos desde el Clásico Tardío hasta el periodo histórico, donde las temperaturas de calcinación alcanzan un promedio de 800 °C. Ambos datos permiten correlacionar los hornos de Tamanché con los otros hornos analizados como parte del Proyecto Arqueológico Norte de Ichkaantijoo.

PALABRAS CLAVE. Área maya; hornos de cal; arqueomagnetismo; Tamanché; norte de Ichkaantijoo.

ABSTRACT. Archaeological investigations carried out in the western sector of the Tamanche police station (north of Merida, Yucatan) have provided us with samples for the archaeomagnetic dating of two lime kilns excavated at the site. The furnaces were found on the periphery of the archaeological site, which lies southwest of the center of Tamanche. The archaeological contexts are located in a space of multiple occupations with evidence of pre-Hispanic and historical constructions. In this paper we present the results of the dating and analysis of the samples recovered, which have allowed us to ascertain the temperature reached by the kilns when they were used in lime production, as well as to date the most recent instance of burning that took place inside them. The dating results indicate a process of reuse of the kilns from the Late Classic to the historical period, where calcination temperatures reached an average of 800 °C. Both sets of data allow us to correlate the Tamanche kilns with the other furnaces analyzed as part of the Northern Ichkaantijoo Archaeological Project.

KEYWORDS. Mayan area; lime kilns; archaeomagnetism; Tamanche; northern Ichkaantijoo.

INTRODUCCIÓN

La producción de cal en el área Maya es una investigación en proceso. A partir de un enfoque interdisciplinario, permite conocer los alcances pirotécnicos que la sociedad maya prehispánica desarrolló en el momento de producir cal (Goguitchaichvili *et al.* 2020; Seligson *et al.* 2019). En este artículo presentamos la información de dos hornos localizados en la periferia del sitio arqueológico de Tamanché, Yucatán.

Tamanché (figura 1) es un sitio clasificado como de rango IV en el *Atlas Arqueológico del Estado de Yucatán*, identificado con la clave 16Qd (4): 9 (Garza y Kurjack 1980). Este sitio arqueológico fue objeto de un salvamento durante el año 2016. Específicamente, se excavó la periferia suroeste del mismo, adyacente al cementerio actual de la comisaría de Tamanché.

Los registros arqueológicos nos indican que Tamanché es un sitio que presenta una ocupación desde el Preclásico Medio-Tardío hasta el Clásico Temprano-Tardío según los materiales que se han recuperado durante los recorridos de superficie previos. Se investigó igualmente la hacienda principal conocida como Ha-

cienda Tamanché, que fue fundada y habitada en la segunda mitad del siglo XIX con la finalidad de explotar el henequén (Echeverría Castillo y Maldonado 2017).

Sin embargo, los materiales cerámicos que provienen del salvamento realizado en la periferia del sitio arqueológico nos aportan una tipología desde el Preclásico Medio (1000/700-300 a. C.) hasta el periodo histórico (1550-1950 d. C.) (Góngora *et al.* 2016).

La disposición espacial del asentamiento de la periferia de Tamanché estuvo integrada por pequeños grupos de plataformas, cimientos y montículos asociados a estructuras hidráulicas (pozos y hondonadas), así como por estructuras productivas en la forma de *sascaberas* y canteras explotadas en época prehispánica y, probablemente, histórica. En el caso de los hornos, fue interesante ubicarlos en contextos domésticos que temporalmente presentan modificaciones en época histórica y moderna.

Los estudios sobre la producción de cal que hemos realizado (Goguitchaichvili *et al.* 2020; Pantoja *et al.* 2020) se centran en la datación de las estructuras pirotécnicas y en el cálculo de las temperaturas de calcinación de los materiales ubicados en el interior de los

hornos. La combinación de las técnicas arqueomagnéticas y arqueométricas nos ha permitido confirmar el uso de los hornos para producir cal en el área maya, así como sugerir que dichas estructuras, en forma y diseño, funcionaron hasta el periodo histórico (Ortiz-Ruiz *et al.* 2021; Ortiz-Ruiz 2019).

CONTEXTO ARQUEOLÓGICO DE LOS HORNOS DE TAMANCHÉ

Los hornos que presentamos en este trabajo se localizaron durante el salvamento arqueológico denominado Tamanché. Ambos se hallaron en las inmediaciones de dos contextos domésticos con ocupaciones desde la época prehispánica hasta la época moderna; evidenciado esto último por la construcción de albarradas y casas que modificaron el paisaje donde estaban inmersos los hornos.

El primer horno, denominado 360 (figura 2B) se ubica dentro del conjunto arquitectónico asociado a la hacienda Xtual, complejo colonial localizado al oeste del área nuclear del sitio arqueológico de Tamanché. Estos edificios prehispánicos e históricos se conectan, por medio de caminos, con fuentes de extracción de roca caliza y *sascab*.

Arquitectónicamente, el horno fue construido aprovechando una cantera extinta. Se utilizaron las paredes de la cantera y se construyó un muro en forma de L para cerrar el espacio dedicado al horno, dando como resultado un horno con planta irregular. Al oeste del mismo, a escasos 20 m, se localiza una cantera donde eran evidentes las huellas de extracción de material y se registraron algunos bloques cortados y en proceso de corte en su interior. Asimismo, se ubicó otra *sascabera* al noroeste del mismo horno formando conjunto con un cimiento.

La intervención arqueológica en el horno se realizó con la finalidad de corroborar la función de la estructura, así como de conocer los rasgos pirotecnológicos presentes en el contexto; por lo cual se trazó una retícula de control y se procedió a excavar mediante una estratigrafía métrica que identificó cuatro capas que se distinguían entre ellas por el color y la composición del sedimento. Estratigráficamente, la capa I estaba compuesta por sedimento de color café oscuro y a los 0.15 m de profundidad se encontraron piedras quemadas de tamaño pequeño, menor a 0.15 m. En la capa II se ubicó material con piedras calcinadas de 0.10-0.30 m, mezcladas con tierra de color grisáceo claro y de consisten-

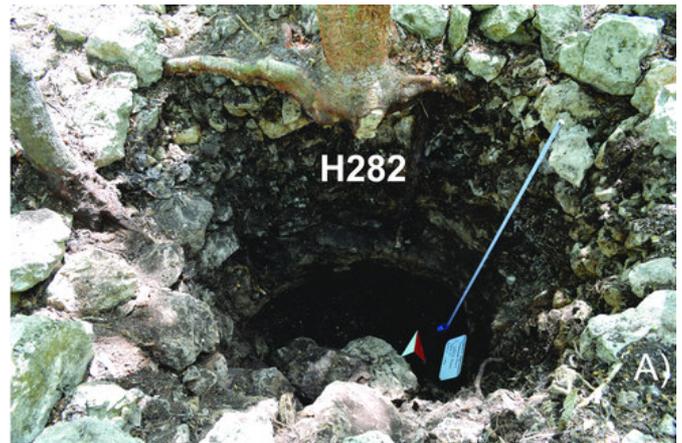


Figura 2. Detalle de los hornos de cal 282 y 360. Fotografías: C. Bolio Zapata (2016) y F. Tec Pool (2016).

cia deleznable. Las evidencias sugieren que esta capa corresponde a la última utilización del horno. La capa III estaba integrada por un sedimento de color café grisáceo y piedras craqueladas por la acción del fuego. El relleno incluyó la presencia de algunas piedras grandes. Finalmente, la capa IV ofreció sedimentos de color café grisáceo con piedras sueltas y sedimentos no compactados. En el lado noroeste se ubicó la roca madre, la cual sería utilizada como piso del horno. Debido a varios derrumbes y la inestabilidad de la excavación, no fue posible liberar toda la roca madre (Góngora *et al.* 2016; Ortiz Ruiz 2019).

El contexto presentó evidencias pirotecnológicas materializadas en rocas craqueladas por la acción del fuego, así como muros fragmentados debido al proceso de calcinación y sedimentos en tonos grises, que probablemente debían su coloración a la mezcla de ceniza y restos de material blanco, posiblemente cal.

El horno 282 (figura 2A) se localizó en un complejo doméstico formado por tres plataformas posiblemente

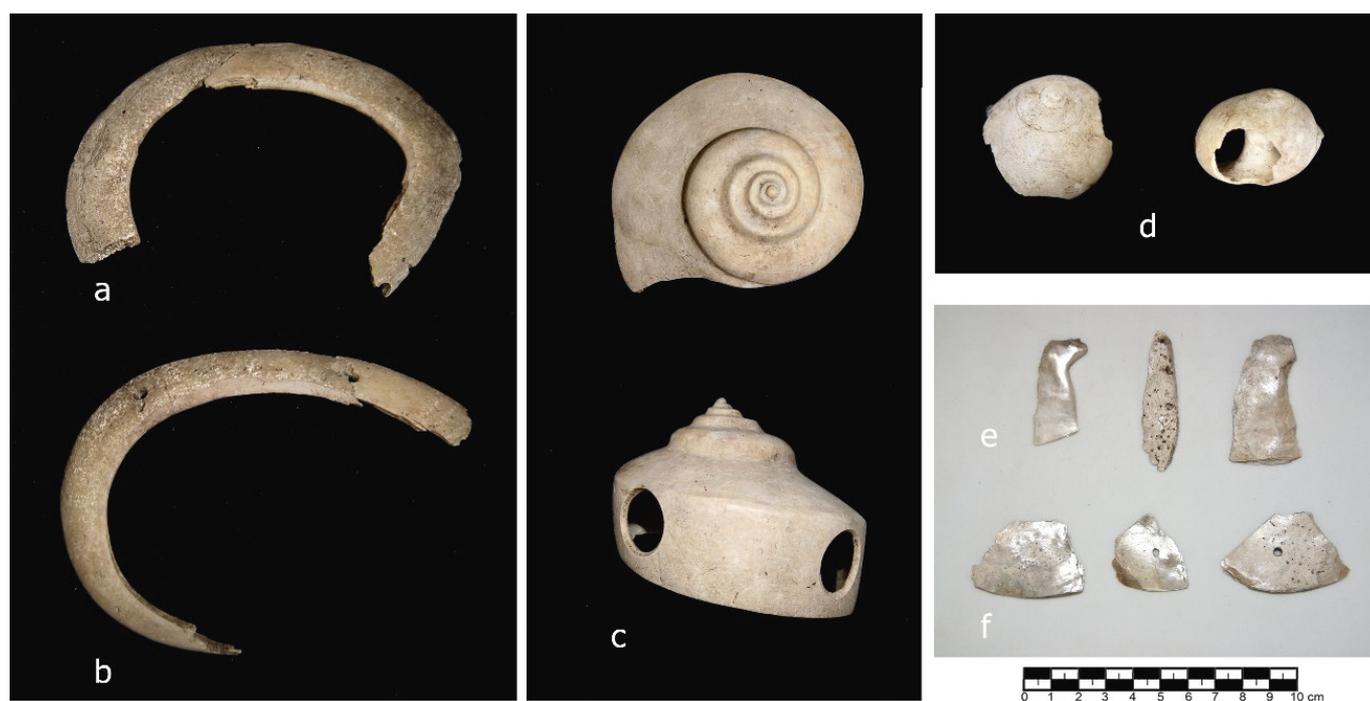


Figura 3. Objetos de conchas recuperados de la estructura 282: a y b) pectorales de *Scutellastra (Patella) mexicana*; c) pectoral de *Busycon contrarium* (vista anterior y dorsal); d) pieza semitrabajada de *Naticarius canrena* (vista anterior y dorsal); e y f) fragmentos de *Pinctada imbricata*. Fotografías: D. Paz Rivera (2020).

habitacionales y dos cimientos. Apareció a 13 m al norte de la albarrada prehispánica que rodeaba el conjunto. Esta separación espacial indicaría que el cimientos y el horno eran utilizados en las actividades productivas, mientras que las plataformas y el otro cimientos lo serían en las actividades domésticas. Después de su ocupación, en la época histórica, el conjunto arquitectónico fue afectado al ser desmantelado parcialmente para construir una albarrada moderna (Góngora *et al.* 2016; Ortiz-Ruiz 2019).

La excavación del contexto arqueológico incluyó las tres plataformas, un cimientos y el horno. Este último fue intervenido mediante un pozo estratigráfico con el objetivo de corroborar su función como estructura pirotecnológica. Al final de la excavación fue reportada la presencia de una oquedad. Sin embargo, es muy posible que se tratara de una *sascabera* o cantera, tal como informaba Seligson (2016) para el caso de Kiuic en la zona Puuc.

Estratigráficamente, las evidencias pirotecnológicas fueron escasas. Los muros del horno se encontraron parcialmente colapsados hacia el interior, hallándose algunas piedras fragmentadas y craqueladas, posiblemente por la acción del fuego. Los sedimentos localizados en las dos capas excavadas fueron de color café oscuro, sin evidencias macroscópicas de calcinación. Lo interesante se dio al hallar un arreglo de al menos 5 caracoles; la

posición de estos sugería que se trató de una ofrenda de terminación, es decir, la depositaron cuando se dejó de utilizar el horno productivamente.

PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

Caracterización mineralógica y determinación de temperaturas de calcinación

En el interior del horno 282 se localizó una serie de objetos de concha, cuya naturaleza hace pensar que se trató de un depósito intencional a pesar de haber sido recuperados de los perfiles del pozo y sin ningún tipo de preparación especial. En total se encontraron 10 piezas en la capa II del pozo 1, correspondientes a tres pectorales terminados, tres pendientes no perforados, un pectoral en proceso y tres fragmentos de bivalvos con huellas de trabajo. Entre los pectorales, se recuperaron dos elaborados con la especie *Scutellastra (Patella) mexicana* o caracol lapa, cuyo hábitat corresponde a las costas del Pacífico (provincia malacológica panámica). Ambas piezas se encontraron fracturadas e incompletas (figura 3). Sus dimensiones son 14 cm de longitud y 10 cm de ancho. En ambos se apreciaron las perforaciones de tipo cónico. Se clasificaron como objetos ter-

minados y, según la tipología de Velázquez (1999), correspondieron a pectorales de la familia automorfa, subfamilia gasterópoda y tipo semicompleto. La superficie fue desgastada y el borde era liso, sin ningún diseño (figura 3, a y b). Estos pectorales son elementos foráneos y presentaron similitud con uno encontrado en el sitio de Xochicalco, Morelos, como parte de las ofrendas depositadas en las escalinatas de la Pirámide de las Serpientes Emplumadas (Melgar-Tísoc 2007).

El tercer pectoral fue elaborado con un ejemplar de *Busycon contrarium*, el cual presentó dos grandes perforaciones localizadas en la cara ventral y con bordes rectos. También mostraba desgastes en toda la superficie que eliminaron rastros de nodos y líneas de crecimiento. El ápex se modificó, acentuando una forma esférica. Las espiras fueron desgastadas eliminando por completo las espinas y acentuando la curva natural y, finalmente, la zona anterior fue retirada dejando un borde recto. Esta especie de caracol es de hábitat caribeño, apreciado por ser comestible y su concha fue utilizada en la elaboración de diversos artefactos (figura 3c).

La cuarta pieza de concha correspondió a un objeto en proceso de manufactura, probablemente un pendiente, ya que se apreciaron dos grandes perforaciones irregulares en la vuelta corporal. La superficie fue desgastada, sin embargo, los bordes eran irregulares. El labro estuvo ausente, posiblemente fue retirado de forma intencionada o se fracturó en el momento de regularizar una de las perforaciones. La especie utilizada fue identificada como *Naticarius canrena*, propia de la provincia caribeña (figura 1d).

Finalmente, se recuperaron seis fragmentos trabajados, identificados taxonómicamente como pertenecientes al bivalvo nacarado *Pinctada imbricata*. Tres de los fragmentos presentaron una forma semirregular trapezoidal, dos de ellos con perforación bicónica centrada. Para estas piezas se utilizó el margen ventral del bivalvo. Los tres restantes fueron irregulares y correspondieron a la sección de la charnela (figura 3, e y f).

Las muestras de sedimentos, fragmentos de roca y concreciones de cal se analizaron por medio de la espectrometría de infrarrojos. La finalidad de utilizar la técnica fue lograr la caracterización mineral, así como identificar los cambios que sufrieron los materiales expuestos al fuego en el momento de la producción de cal en época prehispánica. La aplicación de esta técnica en la arqueología ha sido ampliamente documentada en el estudio de los materiales expuestos al fuego (Berná *et al.* 2007; Chu *et al.* 2008; Monnier 2018; Regev *et al.* 2010; Toffolo y Boaretto 2014; Toffolo *et al.* 2017;

Toffolo *et al.* 2019; Weiner *et al.* 2020). Los análisis fueron llevados a cabo con el módulo de reflectancia total atenuada (ATR). Las muestras se prepararon moliendo un fragmento de entre 1 y 0.5 cm de diámetro en un mortero con pistilo de ágata. Al término de la molienda, cada muestra fue depositada en tubos *Eppendorf* para su posterior análisis. Después de la pulverización de la muestra, se procedió al análisis utilizando un espectrómetro portátil *Bruker Alpha Platinum* en modo ATR con cristal de diamante. Los espectros fueron obtenidos a una resolución de 4 cm⁻¹ y 32 barridos en el intervalo de 400-4000 cm⁻¹ en números de onda (Ortiz-Ruiz 2019).

La identificación mineralógica de los espectros resultantes fue realizada mediante la comparación con los materiales de referencia certificados por el *National Institute of Standards and Technology*, SRM 88b y SRM 1D, así como con el espectro de una muestra mineral de espato de Islandia y diferentes materiales de calizas geológicas recolectadas durante el trabajo de campo. De forma complementaria, se consultaron las bases de datos de Chukanov (2014), Aldeias *et al.* (2019) y Weiner (2010).

El cálculo de las temperaturas de calcinación se realizó mediante la metodología propuesta por Chu *et al.* (2008) y Regev *et al.* (2010); esto permitió determinar los cambios moleculares que sufren los materiales al ser expuestos al fuego y diferenciar los procesos de formación del grupo carbonato localizados en el contexto arqueológico.

El análisis de las muestras por espectrometría infrarroja por transformada de Fourier en el módulo de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) condujo a la necesidad de establecer parámetros de relación ν_2/ν_4 con materiales locales. Es decir, fue precisa la creación de una curva de calibración de temperaturas a partir de la calcinación de materiales geológicos y la identificación de los efectos térmicos por medio de la técnica antes descrita; lo cual nos permitió establecer patrones de referencia locales para identificar los procesos pirotécnicos en ambientes kársticos, como en el caso del área maya (Ortiz-Ruiz 2019).

Estudio arqueomagnético

Mediante el uso de una perforadora portátil se obtuvieron entre 8 y 10 núcleos (2.5 cm de diámetro y longitudes mayores de 3 cm) de las paredes de ambos hornos. El muestreo se realizó de forma sistemática, tanto horizontal como verticalmente. Cada uno de los nú-

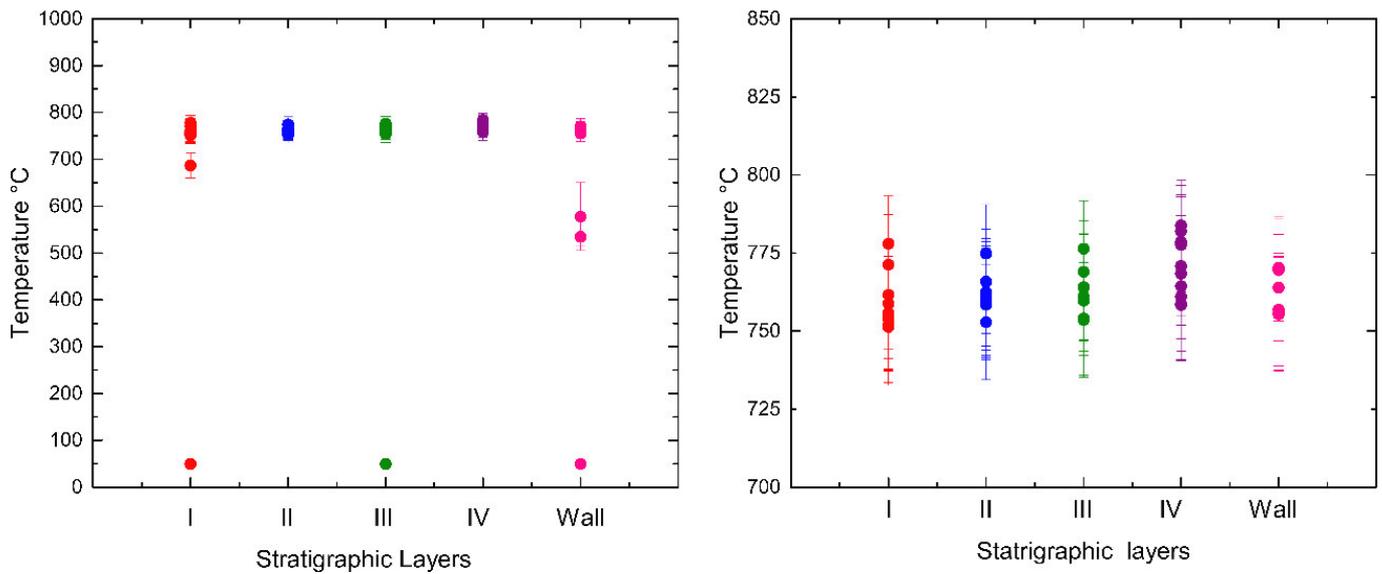


Figura 4. Resultados del cálculo de las temperaturas alcanzadas en el interior y en las paredes del horno 360. La mayoría de las muestras se ubican en temperaturas altas, como se puede ver en la segunda gráfica.

cleos obtenidos se orientó *in situ* mediante un orientador magnético y se identificó de forma secuencial. Los núcleos conseguidos se cortaron en el laboratorio en núcleos paleomagnéticos estándares (2.5 cm de diámetro \times 2.2 cm de altura) mediante una cortadora, obteniendo respectivamente 11 y 9 especímenes para los hornos 280 y 360. La caracterización magnética de los portadores de la magnetización se realizó a partir de las curvas susceptibilidad magnética vs. temperatura (curvas κ -T) en fragmentos representativos de los diferentes núcleos obtenidos. A fin de determinar la paleodi-

rección del campo magnético terrestre presente durante la última utilización de cada horno, los diferentes especímenes fueron sometidos a un proceso de desmagnetización gradual mediante campos magnéticos alternos. A partir de los resultados obtenidos se determinaron la declinación (Dec) e inclinación (Inc) magnéticas medias registradas en los núcleos aplicando la estadística de Fisher (1953). Finalmente, la estimación de la edad más probable de la última utilización de cada horno (exposición al fuego de las rocas que lo forman) se realizó mediante la comparación de los parámetros magnéticos obtenidos (Dec e Inc) con las curvas de variación secular correspondientes del modelo global *SHADIF14k* (Pavón Carrasco *et al.* 2014), empleando el *software archaeo_dating* implementado en *Matlab* por Pavón Carrasco *et al.* (2011).

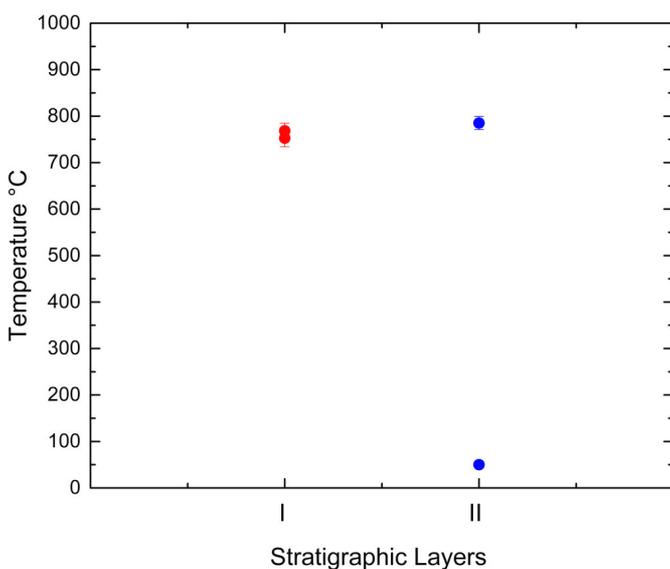


Figura 5. Resultado del análisis de las muestras del horno 282, los cuales indican que los sedimentos del interior estuvieron expuestos a altas temperaturas. La capa II corresponde al sedimento asociado a la ofrenda de conchas hallada en el interior del horno.

RESULTADOS

Los resultados de las muestras analizadas de los hornos 360 y 282 (figuras 4 y 5) permiten sugerir que las estructuras funcionaron como hornos y que alcanzaron temperaturas entre los 750-800 °C, así como identificar áreas en los hornos que no estuvieron expuestas al fuego. En el caso del horno 360, los análisis incluyeron fragmentos de las piedras de los muros, los cuales reflejan este patrón de distribución de calcinación desde áreas geogénicas hasta zonas expuestas a altas temperaturas. En el caso del horno 282, fue interesante identificar temperaturas altas, pues macroscópicamen-

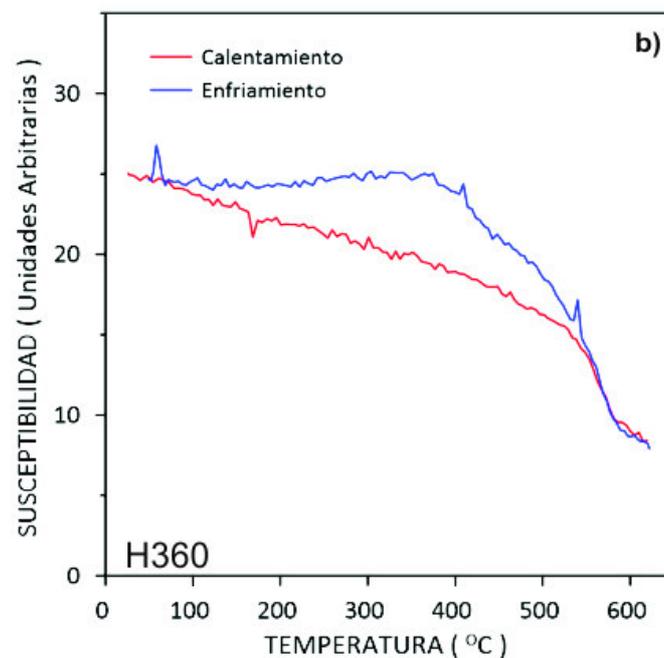
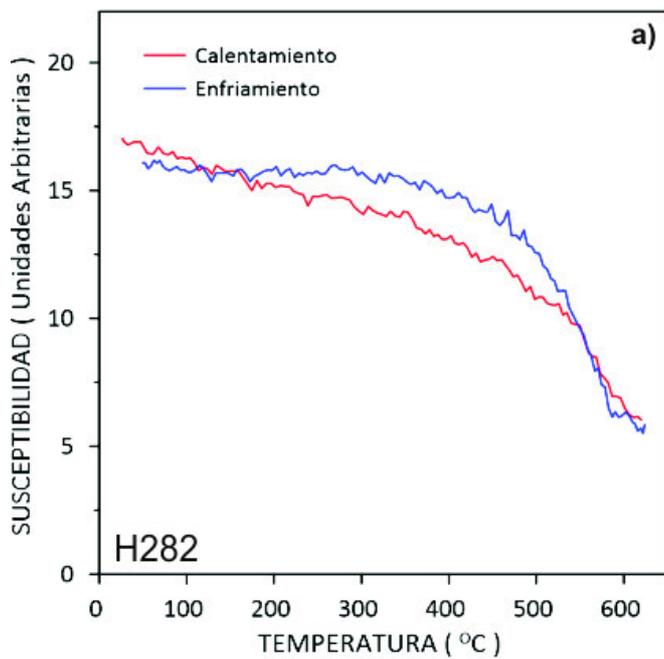


Figura 6. Experimentos de la susceptibilidad magnética en función de la temperatura hasta 620 °C.

te no era posible diferenciar las áreas expuestas al fuego en el sedimento del horno. Microscópicamente, se divisaron algunas concreciones de cal y los análisis nos indican una utilización del fuego en el interior del horno, aun en la muestra asociada al depósito de caracoles descrita anteriormente.

A partir de las curvas κ - T (figura 6) se estimaron temperaturas de Curie de ~ 580 °C, indicando que el mineral magnético principal (responsable de la remanen-

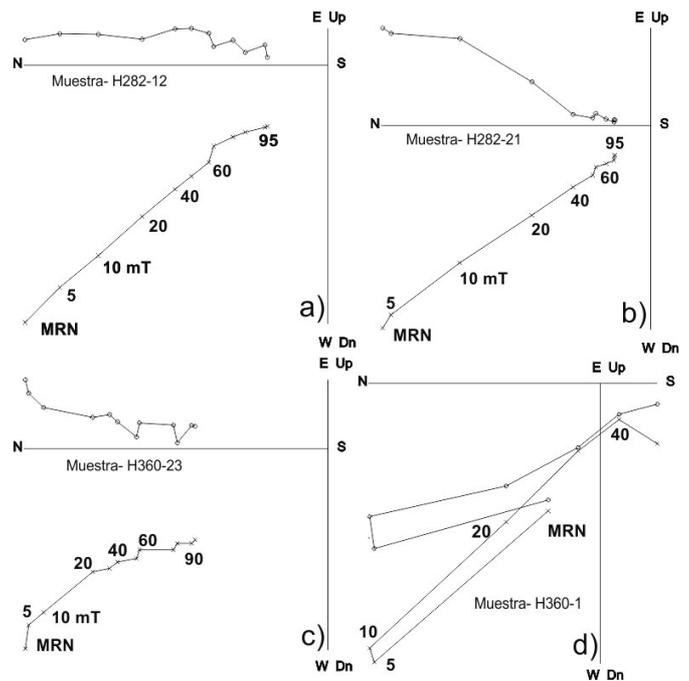


Figura 7. Ejemplos representativos de desmagnetización por campos alternos de los especímenes provenientes de los hornos 282 y 360. La muestra H360-1 ofrece un proceso de desmagnetización irregular, sin definir un segmento lineal tendiente al origen.

cia) en las muestras es muy probablemente la (titano) magnetita (mineral magnético original en las rocas calizas) y no fue consecuencia de la alteración por intemperismo. El resultado de la desmagnetización magnética progresiva de los diferentes especímenes (figura 7) confirma el origen primario y termorremanente (adquirido por la exposición al fuego) de la magnetización en las muestras de roca analizadas.

Los resultados de la datación arqueomagnética proporcionan dos periodos de utilización del horno 360: el Clásico Tardío (550/600-830 d. C.) y el periodo histórico (1550-1950 d. C.) (figura 8), lo cual corresponde arqueológicamente a los procesos de fundación y crecimiento de la hacienda Xtual durante la época colonial. De hecho, la fundación de dicha hacienda fue marcada por la construcción de la casa principal, un arco de acceso y una noria para la extracción de agua. Asimismo, se identificaron cimientos de casas, aljibes y desagües (Góngora *et al.* 2016).

El caso del horno 282 es interesante, pues en profundidad fue mayor al horno 360 y la ubicación del depósito de caracoles nos sugiere un proceso de terminación y abandono del horno durante el Clásico Tardío (550/600-830 d. C.). Esto es así porque la especie *Scutellastra (Patella) mexicana* ha sido reportada únicamente en contextos prehispánicos, como es el caso de

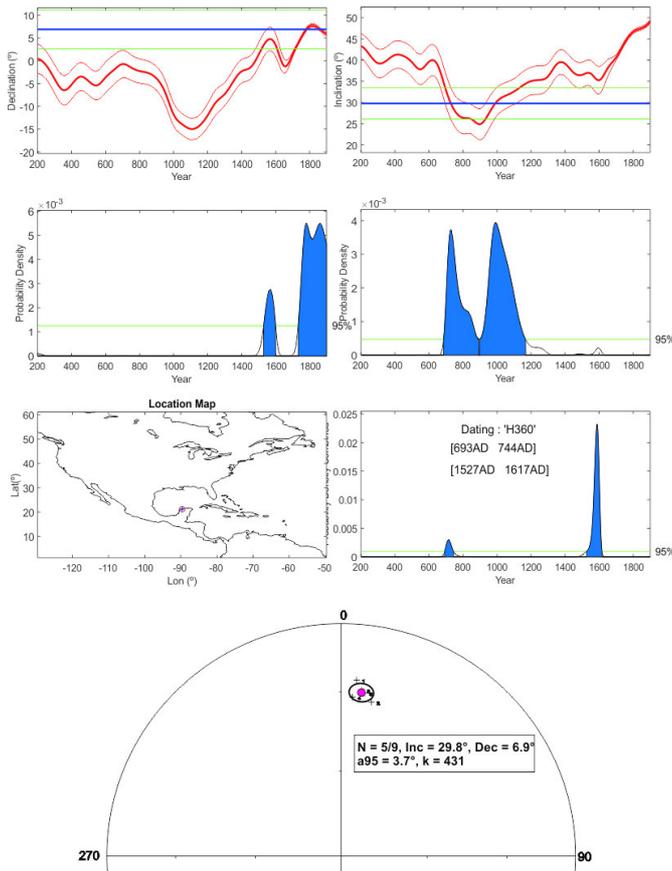


Figura 8. Ejercicio de datación arqueomagnética del horno 360, junto con las direcciones medias y parámetros de precisión de la estadística de Fisher.

un enterramiento de Polok Ceh, un sitio localizado al oriente de Mérida donde se hallaron ornamentos de la misma especie (Gómez Coba *et al.* 2018). Sin embargo, la datación arqueomagnética nos indica una fecha para el periodo colonial o histórico entre 1503 y 1739 (figura 9). El contexto arqueológico presenta modificaciones por albarradas construidas sobre el complejo doméstico. La presencia del depósito de caracoles en la zona más profunda del horno, a casi 2 m de la superficie, sugeriría que las reutilizaciones coloniales fueron más superficiales. Esto se ha podido registrar en otros contextos datados en la época colonial, donde la profundidad de los hornos se encuentra entre los 0.70-0.50 m (Ortiz *et al.* 2021). Es probable que este sea el caso del contexto del horno 282.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las edades arqueomagnéticas nos marcan una datación colonial de los contextos analizados entre los años 1503-1739, lo cual se corresponde con las fechas por

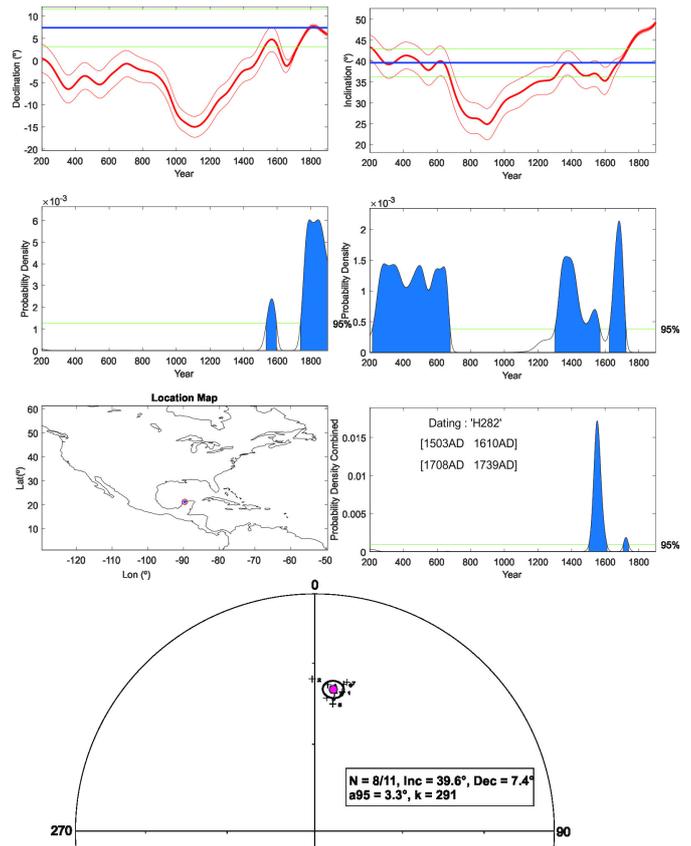


Figura 9. Ejercicio de datación arqueomagnética del horno 282 junto con las direcciones medias y parámetros de precisión de la estadística de Fisher.

radiocarbono *AMS* de los fragmentos de carbón recuperados de las muestras de pisos y paredes de la casa principal y el arco de la hacienda Xtual, que se sitúan entre 1640-1920 (calibradas a 2σ , 95 %) y 1681-1938. Arqueológicamente, en la región norte de Ichkaantijoo se ha reportado la presencia de vestigios históricos que se localizan tanto al este como al norte del sitio de Tamanché (Canché *et al.* 2017; Góngora 2017). La reutilización de los hornos en época histórica la hemos documentado tanto para la región de Ichkaantijoo como para el área del occidente del estado de Yucatán (Goguitchaichvili *et al.* 2020). La arquitectura prehispánica reutilizada para hacer cal contrasta con los datos de la hacienda San Pedro Cholul, donde el horno ya presenta una construcción de estilo europeo y fue datado arqueomagnéticamente entre 1835-1896 (Hernández Álvarez *et al.* 2017).

El sitio de Tamanché participa en la conformación de la industria de la producción de cal en épocas históricas tempranas a través de la reutilización de los hornos prehispánicos dentro de las dinámicas de cambio y fundación de los pueblos coloniales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado parcialmente por el CONACYT a través del proyecto *Ciencia de Frontera 2019* n.º 731762 y por la beca posdoctoral otorgada a Soledad Ortiz-Ruiz por el CONACYT. Asimismo, los autores agradecen al Centro INAH-Yucatán todas las facilidades otorgadas para el muestreo y análisis de los materiales. Agradecemos igualmente el apoyo parcial de los proyectos del CONACYT LN293904, LN299076 y LN314846. Por su parte, Miguel Cervantes agradece el apoyo parcial del proyecto CONACYT CF-2019-1761.

REFERENCIAS

- ALDEIAS, V.; S. GUR-ARIEH; R. MARIA; P. MONTEIRO; P. CURA. 2019. Shell we cook it? An experimental approach to the microarchaeological record of shellfish roasting. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11: 389-407.
- BERNA, F.; A. BEHAR; R. SHAHACK-GROSS; J. BERG; E. BOARETTO; A. GILBOA; I. SHARON; S. SHALEV; S. SHILSTEIN; N. YAHALOM-MACK; J. R. ZORN; S. WEINER. 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.
- CANCHÉ-CANCHÉ, C. A.; S. DE LA CRUZ NARANJO; C. RAMOS NOVELO; A. GÓNGORA SALAS. 2017. Caminando entre los antiguos asentamientos al norte de la provincia de Jo. En *Aportaciones del salvamento arqueológico y otros estudios en la reconstrucción de la Cultura Maya. Memorias del Tercer Simposio de Cultura Maya Ichkaantijoo*, ed. A. Góngora Salas, pp. 97-110. Mérida, Yucatán, México: Maldonado Editores del Mayab.
- CHU, V.; L. REGEV; S. WEINER; E. BOARETTO. 2008. Differentiating between anthropogenic calcite in plaster, ash and natural calcite using infrared spectroscopy: implications in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 35: 905-911.
- CHUKANOV, N. V. 2014. *Infrared spectra of mineral species. Extended library*. Nueva York/Londres: Springer.
- ECHEVERRÍA CASTILLO, S.; R. MALDONADO CÁRDENAS. 2017. El sitio prehispánico 16Qd (4): 9 Tamanché, Mérida, Yucatán: un referente en la historia antigua de las comunidades prehispánicas de la región. En *Aportaciones del salvamento arqueológico y otros estudios en la reconstrucción de la Cultura Maya. Memorias del Tercer Simposio de Cultura Maya Ichkaantijoo*, ed. A. Góngora Salas, pp. 141-153. Mérida, Yucatán, México: Maldonado Editores del Mayab.
- FISHER, R. A. 1953. Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 217, 1130: 295-305. Londres.
- GARZA TARAZONA, S.; E. B. KURJACK. 1980. *Atlas Arqueológico del Estado de Yucatán*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)/Secretaría de Educación Pública (SEP).
- GÓNGORA SALAS, A. 2017. Maxtunil: pueblo legendario de Nakuk Pech. En *Aportaciones del salvamento arqueológico y otros estudios en la reconstrucción de la Cultura Maya. Memorias del Tercer Simposio de Cultura Maya Ichkaantijoo*, ed. A. Góngora Salas, pp. 111-128. Mérida, Yucatán, México: Maldonado Editores del Mayab.
- GÓNGORA SALAS, A.; F. TEC POOL; C. BOLIO ZAPATA; J. CARRILLO LÓPEZ. 2016. *Salvamento arqueológico Tamanché Fase I. Informe de campo*. Mérida: Centro INAH-Yucatán.
- GOGUITCHAICHVILI, A.; S. ORTIZ-RUIZ; J. MORALES; V. A. KRAVCHINSKY; O. DE LUCIO; R. CEJUDO; R. GARCÍA; E. UC GONZÁLEZ; J. L. RUVALCABA; L. BARBA PINGARRÓN. 2020. Pyrotechnological knowledge in the pre-Hispanic Maya society: Magnetic and infrared spectrometry surveys of limekilns in the western Yucatan Peninsula (Mexico). *Journal of Archaeological Science: Reports* 33: 102457.
- HERNÁNDEZ ÁLVAREZ, H.; S. ORTIZ RUIZ; A. GOGUITCHAICHVILI; J. MORALES; M. CERVANTES-SOLANO. 2017. Intervención arqueomagnética del horno de la hacienda San Pedro Cholul (Mérida, Yucatán). *Arqueología Iberoamericana* 36: 3-9. <http://purl.org/aia/361>.
- LEMA. 2019. *Reporte de datación de muestras con ¹⁴C por espectrometría de masas con aceleradores*.
- MELGAR-TÍSOC, E. 2007. Las ofrendas de concha de moluscos de la Pirámide de las Serpientes Emplumadas, Xochicalco, Morelos. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 83-92.
- MONNIER, G. F. 2018. A review of infrared spectroscopy in microarchaeology: Methods, applications, and recent trends. *Journal of Archaeological Science: Reports* 18: 806-823.
- ORTIZ-RUIZ, S. 2019. *El conocimiento pirotecnológico de la sociedad maya prehispánica: estudio de los hornos para cal en las tierras bajas mayas del norte*. Tesis doctoral. UNAM.

- ORTIZ-RUIZ, S.; A. GOGUITCHAICHVILI; V. A. KRAVCHINSKY; R. CEJUDO; O. DE LUCIO; A. VILLA; A. GÓNGORA; J. MORALES; L. BARBA PINGARRÓN. 2021. Mayan Limekilns as Geomagnetic Field Recorders. Enviado al *Journal of South American Earth Science*.
- PANTOJA, L.; R. CEJUDO; A. GOGUITCHAICHVILI; J. MORALES; S. ORTIZ; M. CERVANTES; F. BAUTISTA; R. GARCÍA. 2020. La memoria del fuego en el Yucatán prehispánico: intervención arqueomagnética de un horno para la producción de cal (Sitpach, Mérida). *Arqueología Iberoamericana* 45: 22-28. <http://purl.org/aia/4503>.
- PAVÓN-CARRASCO, F. J.; M. L. OSETE; J. M. TORTA; A. DE SANTIS. 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters* 388: 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.046>.
- PAVÓN-CARRASCO, F. J.; J. RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ; M. L. OSETE; J. M. TORTA. 2011. A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science* 38, 2: 408-419.
- REGEV, L.; K. M. PODUSKA; L. ADDADI; S. WEINER; E. BOARETTO. 2010. Distinguishing between calcites formed by different mechanisms using infrared spectrometry: archaeological applications. *Journal of Archaeological Science* 37, 12: 3022-3029.
- SELIGSON, K. E. 2016. *The Prehispanic Maya Burnt Lime Industry: Socio-Economy and Environmental Resource Management in the Late and Terminal Classic Period Northern Maya Lowlands (650-950 CE)*. Tesis doctoral. Madison: Department of Anthropology, University of Wisconsin.
- SELIGSON, K. E.; S. ORTIZ-RUIZ; L. BARBA PINGARRÓN. 2019. Prehispanic Maya Burnt Lime Production: Previous Studies and Future Directions. *Ancient Mesoamerica* 30, 2: 199-219.
- TOFFOLO, M. B.; E. BOARETTO. 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.
- TOFFOLO, M. B.; L. REGEV; S. DUBERNET; Y. LEFRAIS; E. BOARETTO. 2019. FTIR-Based Crystallinity Assessment of Aragonite-Calcite Mixtures in Archaeological Lime Binders Altered by Diagenesis. *Minerals* 9, 2: 121.
- TOFFOLO, M. B.; M. ULLMAN; V. CARACUTA; S. WEINER; E. BOARETTO. 2017. A 10,400-year-old sunken lime kiln from the Early Pre-Pottery Neolithic B at the Nesher-Ramla quarry (el-Khirbe), Israel. *Journal of Archaeological Science: Reports* 14: 353-364.
- VELÁZQUEZ CASTRO, A. 1999. *Tipología de los objetos de concha del Templo Mayor de Tenochtitlán*. Colección científica. Ciudad de México: INAH.
- WEINER, S.; A. NAGORSKY; I. TAXEL; Y. ASSCHER; R. M. ALBERT; L. REGEV; X. YAN; F. NATALIO; E. BOARETTO. 2020. High temperature pyrotechnology: A macro- and microarchaeology study of a late Byzantine-beginning of Early Islamic period (7th century CE) pottery kiln from Tel Qatra/Gedera, Israel. *Journal of Archaeological Science: Reports* 31: 102263.