© ARQUEOLOGÍA IBEROAMERICANA 57 (2026): 121-129. ISSN 1989-4104. <https://www.laiesken.net/arqueologia/>.

RESEARCH ARTICLE

ANÁLISIS COMBINADO GEOQUÍMICO Y MAGNÉTICO DE OLLAS GLOBULARES MONOCROMAS CON RECUBRIMIENTO ARCILLOSO EXTERNO DEL SITIO EL OCOTE (AGUASCALIENTES, MÉXICO)

Combined Geochemical and Magnetic Analysis of Monochromatic Globular Pots with an External Clay Coating from the El Ocote Site, Aguascalientes, Mexico

Miguel Cervantes-Solano,[1,2,*] Rubén Cejudo,[1] Rafael García-Ruiz,[1] Avto Goguitchaichvili,[1] Ana Pelz Marín,[3] Jorge Luis Jiménez Meza,[3] María del Sol Hernández-Bernal,[2] Francisco Bautista,[4] Juan Morales [1]

[1] Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM, México;
[2] Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, México; [3] Centro INAH Aguascalientes, México;
[4] Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, México
* ✉ miguel_cervantes@enesmorelia.unam.mx (autor de contacto)

RESUMEN. *Se presenta un estudio arqueométrico integrado de ollas globulares monocromas con recubrimiento arcilloso externo procedentes del sitio arqueológico El Ocote (Aguascalientes, México). Mediante análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), se determinó una composición geoquímica compatible con materias primas de origen intermedio a félsico, con variaciones superficiales que sugieren la posible aplicación intencional de recubrimientos o pigmentos. Las curvas termomagnéticas evidencian una mineralogía dominada por titanomagnetitas pobres en titanio o magnetitas. Las determinaciones de intensidad absoluta del campo geomagnético, obtenidas mediante el método de Thellier y Thellier modificado por Coe, arrojaron un valor promedio de 33.2 ± 0.85 μT. La comparación con el modelo SHAWQ.2k y la curva de variación secular regional permite acotar la cronología de uso de estas vasijas entre* c. *655 y 810 d.C. Los resultados son consistentes, dentro de la incertidumbre, con estudios arqueomagnéticos previos en el sitio. Este trabajo aporta nuevas evidencias sobre la variabilidad tecnológica y cronológica de la cerámica en El Ocote, destacando el potencial de los enfoques arqueométricos integrados en el estudio de materiales arqueológicos.*

PALABRAS CLAVE. *Arqueomagnetismo, análisis geoquímico, tecnología cerámica, Epiclásico, Clásico Tardío, El Ocote, México.*

ABSTRACT. *This paper presents an integrated archaeometric study of monochrome globular pots with an external clay coating from the El Ocote archaeological site (Aguascalientes, Mexico). Using X-ray fluorescence (XRF) analysis, a geochemical composition consistent with raw materials of intermediate to felsic origin was determined, with surface variations suggesting the possible intentional application of coatings or pigments. The thermomagnetic curves reveal a mineralogy dominated by titanomagnetite poor in titanium or magnetite. Determinations of the absolute intensity of the geomagnetic field, obtained using the Thellier and Thellier method modified by Coe, yielded an average value of 33.2 ± 0.85 μT. Comparison with the SHAWQ.2k geomagnetic model and the regional secular variation curve constrains the period of use of these vessels to c. AD 655–810. These results are consistent, within the margin of uncertainty, with previous archaeomagnetic studies at the site. This work provides new evidence regarding the technological and chronological*

Received: April 11, 2026. Accepted: May 13, 2026. Published: May 28, 2026.

Edited & Published by Pascual Izquierdo [P. I. Egea]. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.
Creative Commons License (CC BY 4.0). https://n2t.net/ark:49934/416. https://purl.org/aia/5713.

variability of pottery at El Ocote, highlighting the potential of integrated archaeometric approaches in the study of archaeological materials.

KEYWORDS. *Archaeomagnetism, geochemical analysis, ceramic technology, Epiclassic, Late Classic, El Ocote, Mexico.*

INTRODUCCIÓN

El sitio arqueológico El Ocote se localiza en la porción suroccidental del municipio de Aguascalientes (figura 1), en una región de interacción cultural que colinda con el sur de Zacatecas y los Altos de Jalisco. Cronológicamente, se inscribe entre *c.* 550 y 1050 d.C., correspondiente al Clásico Tardío-Epiclásico de la secuencia mesoamericana. Las evidencias materiales recuperadas a lo largo de distintas temporadas de exploración documentan una dinámica de interacción regional sostenida, particularmente con grupos del

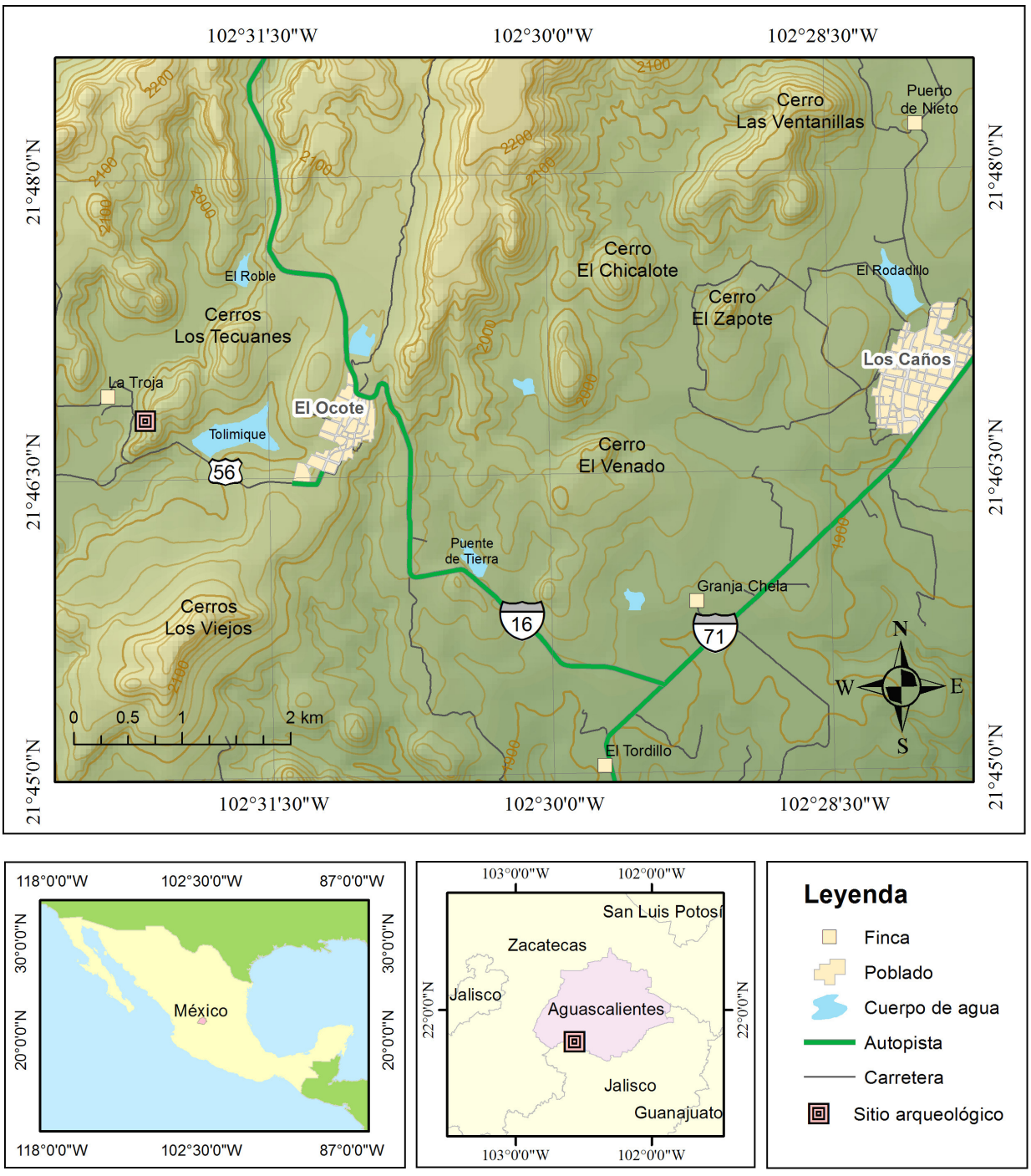

Figura 1. Localización geográfica del sitio arqueológico El Ocote, Aguascalientes, México.

Figura 2. Ejemplo del uso de arcilla como recubrimiento de vasijas.

Bajío, Occidente, Zacatecas y el Altiplano potosino (Pelz 2013; Pelz y Jiménez 2016). Dentro de este contexto, la cerámica constituye uno de los conjuntos materiales más representativos y diagnósticos, ya que su análisis permite inferir aspectos tecnológicos, funcionales y culturales de los grupos humanos que la produjeron y utilizaron.

El presente estudio se centra en un conjunto específico de recipientes que exhiben características morfológicas y tecnológicas poco comunes, cuya función aún no ha sido definida con precisión.

La revisión bibliográfica indica que no existen referencias claras sobre el uso de vasijas con recubrimientos externos de arcilla aplicada (figura 2) como las aquí documentadas. No obstante, fragmentos con este tipo de tratamiento superficial han sido reportados en diversos sitios del estado de Aguascalientes —incluyendo El Ocote, Cerro de Enmedio (según la toponimia de la carta topográfica F13B88), Santiago, La Montesita y Monte Huma— tanto en contextos de prospección como de excavación. Algunas hipótesis preliminares han sugerido posibles funciones, tales como recipientes con propiedades refrigerantes o contenedores para el transporte de sal. Sin embargo, estas propuestas carecen de sustento empírico sólido y no han sido evaluadas sistemáticamente. Asimismo, la ausencia de ejemplares completos en la literatura limita la comprensión integral de estas formas cerámicas.

Desde el punto de vista contextual, los materiales recuperados en El Ocote corresponden a cerámica utilitaria asociada a actividades domésticas, frecuentemente localizada en proximidad —directa o indirecta— a estructuras de combustión (fogones), a distancias aproximadas de hasta dos metros. A pesar de la cercanía ocasional a contextos funerarios, no se identificaron asociaciones directas que sugieran su inclusión como parte de ajuares o depósitos rituales.

Las muestras analizadas (1, 2 y 3) provienen de ollas globulares monocromas con acabados externos café pulido y rojo pulido, interiores alisados, diámetros de boca entre 20 y 30 cm y espesores de pared de 5 a 9 mm. Estas vasijas presentan un recubrimiento externo de arcilla con espesores entre 2 y 5 mm, de tonalidad café oscuro variable y textura que oscila entre alisada y semiburda. Dicho recubrimiento muestra una notable adherencia en la porción media del cuerpo, donde evidencia un grado de cocción desde parcial hasta completo, en contraste con la zona cercana al cuello, donde se presenta frágil con tendencia a la disgregación y rasgos de craquelado (figura 2).

La distribución diferencial de la cocción en el recubrimiento sugiere una exposición controlada a fuentes

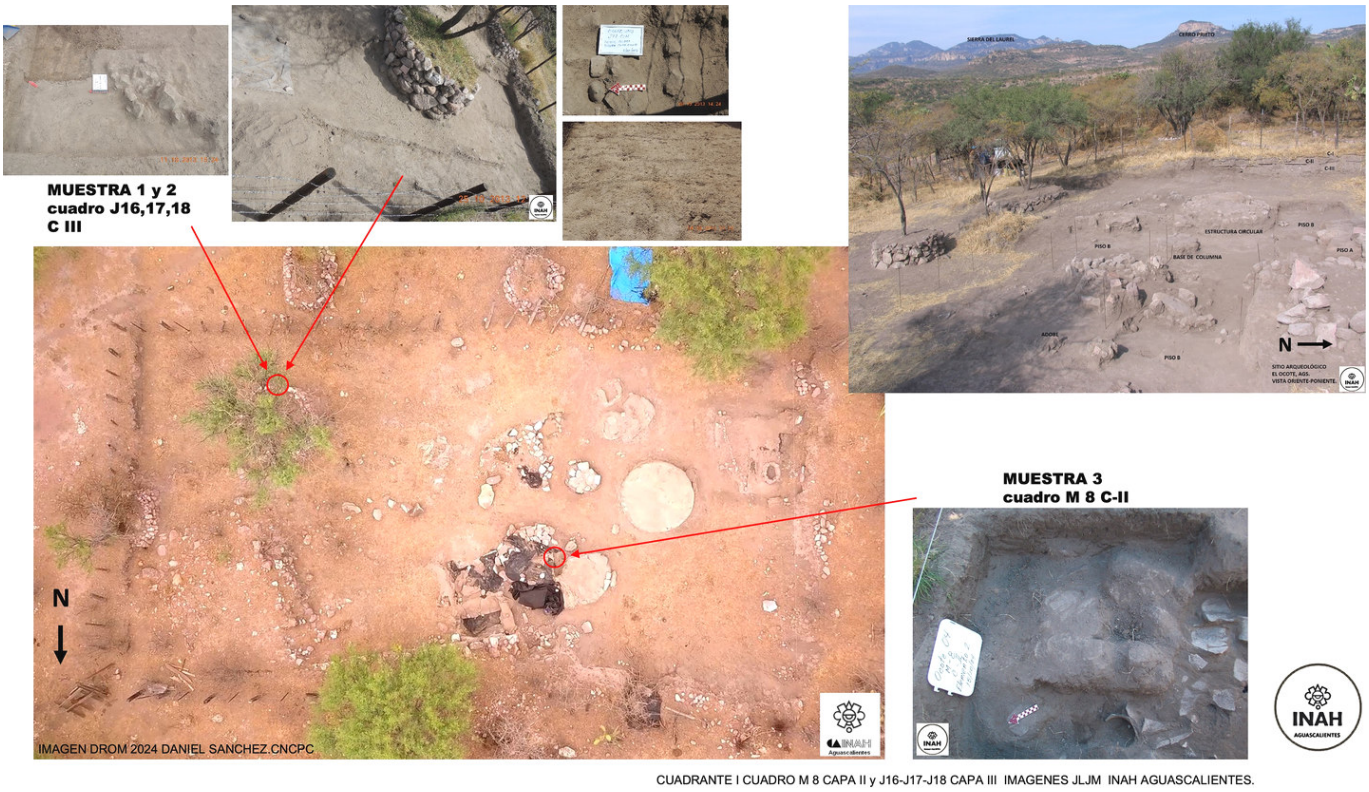

Figura 3. Ubicación de las muestras analizadas en este estudio dentro del sitio arqueológico El Ocote (ver el texto para mayores detalles).

de calor de baja intensidad, lo que habría permitido la consolidación de la capa en las zonas media y baja sin afectar de igual manera al sector superior. Este patrón térmico apunta a una acción intencional y recurrente, descartando un origen fortuito. Además, se identificaron fragmentos con recubrimientos de tonalidades crema a blanco sucio, altamente adherentes y con evidencias de exposición térmica, cuya composición y posibles aditivos permanecen desconocidos.

Dada la singularidad morfológica y tecnológica de estas vasijas, el presente estudio propone un análisis integrado, orientado a determinar sus principales rasgos geoquímicos, así como a evaluar sus propiedades magnéticas. Este enfoque permite no solo caracterizar la composición de las materias primas y los tratamientos tecnológicos involucrados, sino también aproximarse a las condiciones térmicas de uso mediante experimentos de intensidad absoluta del campo geomagnético, contribuyendo así a la comprensión funcional y cronológica de este tipo cerámico.

Las muestras analizadas en esta investigación provienen de distintos contextos de excavación en el sitio arqueológico El Ocote, y corresponden a fragmentos de cuerpos de ollas globulares monocromas con acabados pulidos (figura 3). La muestra OCO1 fue recuperada durante la temporada de campo de 2013 y consiste en un fragmento de cuerpo de olla procedente de los cuadros J16, J17 y J18, correspondientes a la capa III. Presenta un acabado externo del tipo café pulido. La muestra OCO2 proviene de la temporada de 2004 y corresponde a un fragmento de cuerpo de olla recuperado en el cuadro M8, capa II. Al igual que la muestra anterior, presenta un acabado de tipo café pulido. Por su parte, las muestras OCO3a y OCO3b, también recuperadas en 2004, corresponden a fragmentos de cuerpo de olla provenientes del cuadro M8, capa II. Estas piezas se distinguen por presentar un acabado externo de tipo rojo pulido.

PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO Y PRINCIPALES HALLAZGOS

La composición química de las muestras fue analizada mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX), utilizando un espectrómetro portátil de dispersión de energía (ED-XRF) modelo *Genius* 7000 XRF (*Skyray Instruments*) provisto de un tubo de rodio (Rh). Con esta técnica se determinó el contenido de algunos elementos mayores (Fe, K y Ca), menores (Ti y Mn) y traza (Ni, V, Pb, Cu, Zn y Cr) en la superficie del fren-

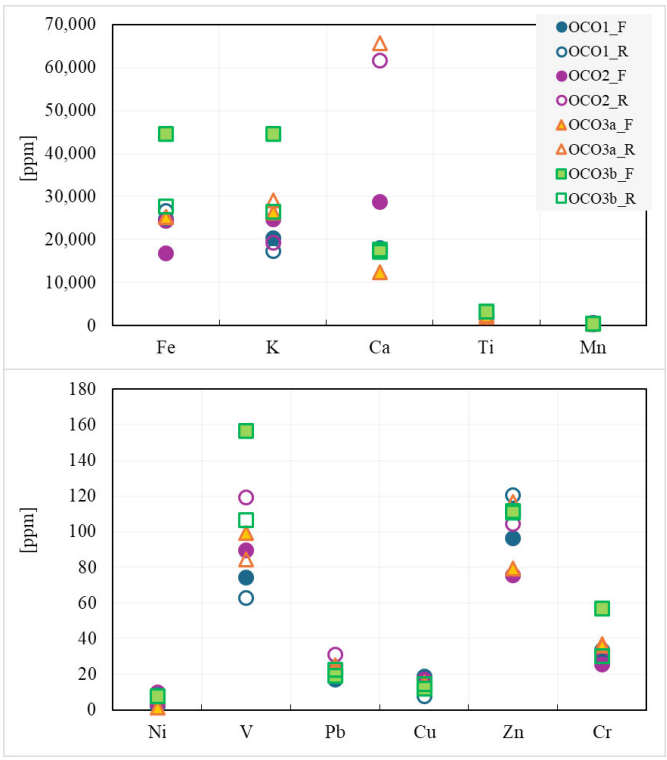

Figura 4. Concentración de elementos mayores en óxidos en cada muestra.

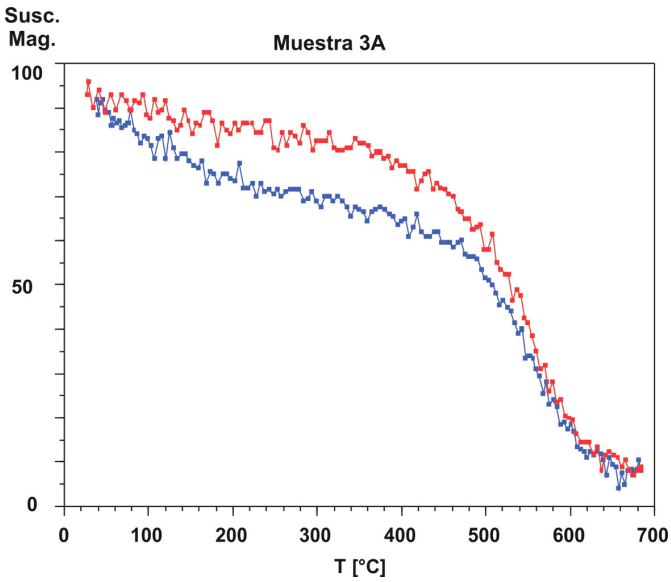

Figura 5. Curva termomagnética continua de susceptibilidad magnética contra la temperatura. La línea roja indica el comportamiento de la susceptibilidad durante el calentamiento y la línea azul durante el enfriamiento. La susceptibilidad se muestra en unidades arbitrarias.

te y reverso de los cuatro fragmentos de cerámica. De acuerdo con los resultados, se observa que el frente del fragmento OCO3b está enriquecido en Fe y K; mientras que el reverso de los fragmentos OCO3a y OCO2 y, en menor medida, el frente de OCO2, están enriquecidos en Ca, posiblemente por la presencia de carbonatos (figura 4).

La conversión de unidades de la concentración de elementos mayores (ppm) a porcentaje en peso de óxidos (wt%) sugiere fuentes de roca intermedia a félsica como origen de las arcillas. La cartografía del Servicio Geológico Mexicano (SGM) escala 1:50000 (carta F13-D18) indica rocas ignimbríticas oligocenas-eocénicas en los alrededores.

A su vez, el frente de la muestra OCO3b también exhibe un enriquecimiento moderado de vanadio (V) y cromo (Cr), que sugiere la presencia de algún pigmento (superficie rojiza de la pieza), especialmente porque el enriquecimiento de hierro (Fe), potasio (K), vanadio (V) y cromo (Cr) se reconoce en el frente y no en el reverso de la pieza (figura 4a y 4b).

Al comparar con las muestras de cerámica estudiadas por García-Ruiz *et al.* (2020), se observa nuevamente un enriquecimiento de vanadio (V), zinc (Zn) y, de forma tenue, de níquel (Ni), cobre (Cu) y cromo (Cr); con esto se sugiere un proceso diferente en la manufactura o bien en el yacimiento de origen de las arcillas.

El muestreo en sedimentos de arroyo reportado por el SGM de las cartas geoquímicas F13-D18 y F13-D19, Jesús María y Aguascalientes respectivamente, indican

Tabla 1. Intensidades determinadas de cada cerámica estudiada mediante el uso del *software* de *Thellier-Tool* y criterios de calidad de Leonhardt *et al.* (2004).

Sample	N	Tmin-Tmax (°C)		f	g	q	Mad	Class	α	d(CK)	B(μT)	σ(μT)
98C163A	10	250	560	0.62	0.83	12.4	1.1	A	3	2.1	33.22	1.39
98C164A	11	200	560	0.58	0.81	12.2	3	A	2.9	4	35.1	1.34
98C165A	12	150	560	0.58	0.81	11.4	5.2	B	2.8	6.1	34.34	1.43
98C166A	11	200	560	0.57	0.81	15.1	1.4	A	3.2	1.5	34.85	1.07
98C167A	13	20	560	0.61	0.82	9.5	2	A	3.9	0.6	34.91	1.83
98C168A	12	150	560	0.61	0.81	15.3	1.5	B	4.6	4.1	33.37	1.08
									Mean	N	B(μT)	σ(μT)
										6	34.3	0.82

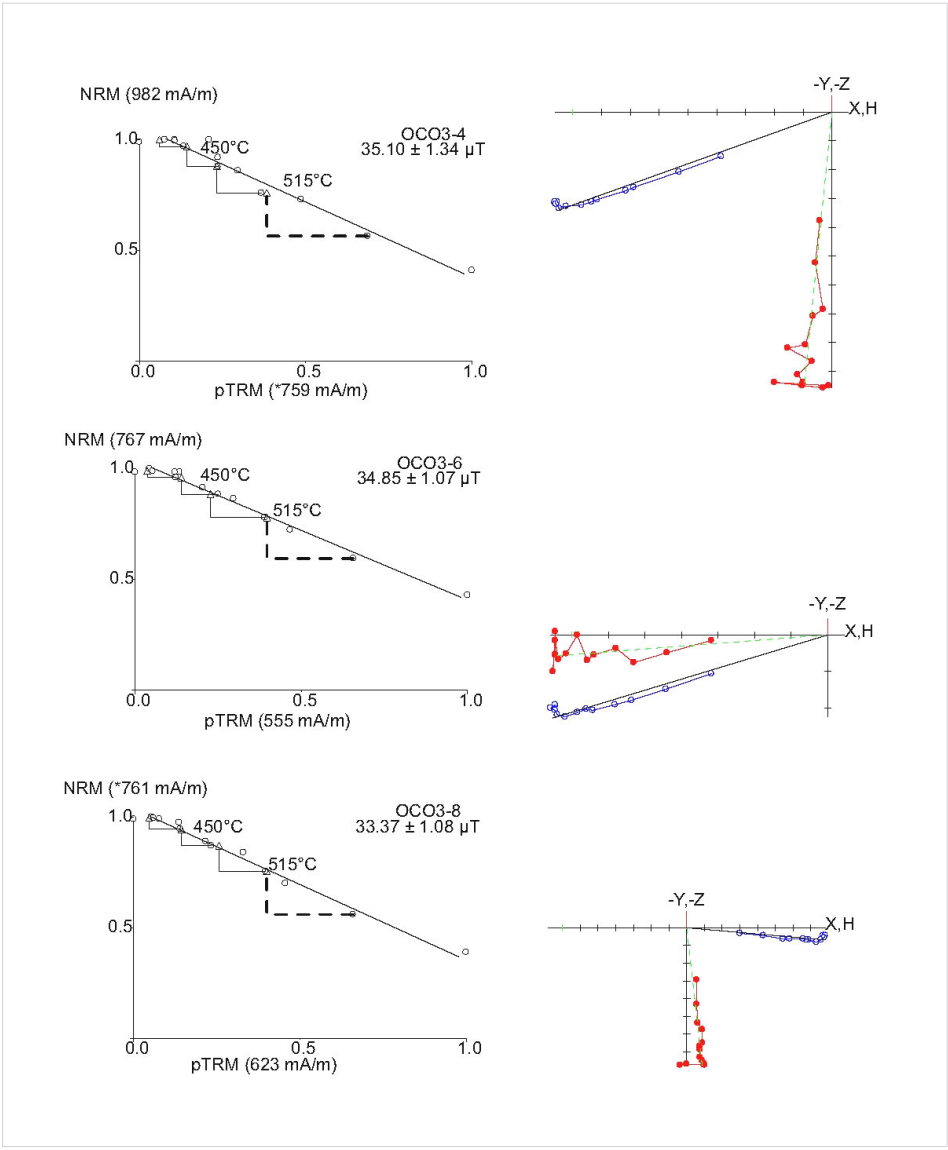

Figura 6. Diagramas de Arai de los experimentos de arqueointensidad absoluta. En el eje horizontal se muestra el valor de la proporción de la magnetización inicial en cada etapa de calentamiento y, en el eje vertical, la fracción entre la magnetización adquirida en el laboratorio y la remanente después de cada etapa. En el lado izquierdo se muestran los diagramas ortogonales de la desmagnetización progresiva.

enriquecimiento de la fuente de zinc hacia la zona centro norte de la carta Jesús María, donde se localiza el sitio El Ocote, pero sobre todo en la carta contigua Aguascalientes, que muestra un enriquecimiento de zinc con una tendencia NE, paralela al lineamiento Calvillito.

A lo largo de dicho lineamiento se reportan las concentraciones más altas, de hasta 700 ppm, superiores a las del muestreo Ocote de García-Ruiz *et al.* (2020), que alcanzan alrededor de 400 ppm, sugiriendo que las rocas limo-arenosas del sur de la ciudad de Aguascalientes podrían ser la fuente de las arcillas utilizadas en su manufactura.

Para conocer la naturaleza de los minerales magnéticos presentes en las muestras, se realizaron experimentos de susceptibilidad magnética en función de la temperatura, llamados curvas termomagnéticas continuas. Para estos experimentos se pulverizó un fragmento de aproximadamente un gramo de cada muestra.

Las mediciones se obtuvieron con un susceptibilímetro *Kappabridge* MFK1-FA, acoplado a un horno CS-4, lo que permitió llevar a cabo experimentos bajo condiciones de temperatura controlada.

La susceptibilidad magnética en función de la temperatura fue registrada calentando la muestra a un ritmo de 13 °C por minuto desde condiciones ambientales, hasta alcanzar los 650 °C y posteriormente fue enfriada al mismo ritmo (figura 5).

La muestra estudiada presenta una curva termomagnética sin alteraciones significativas durante los ciclos

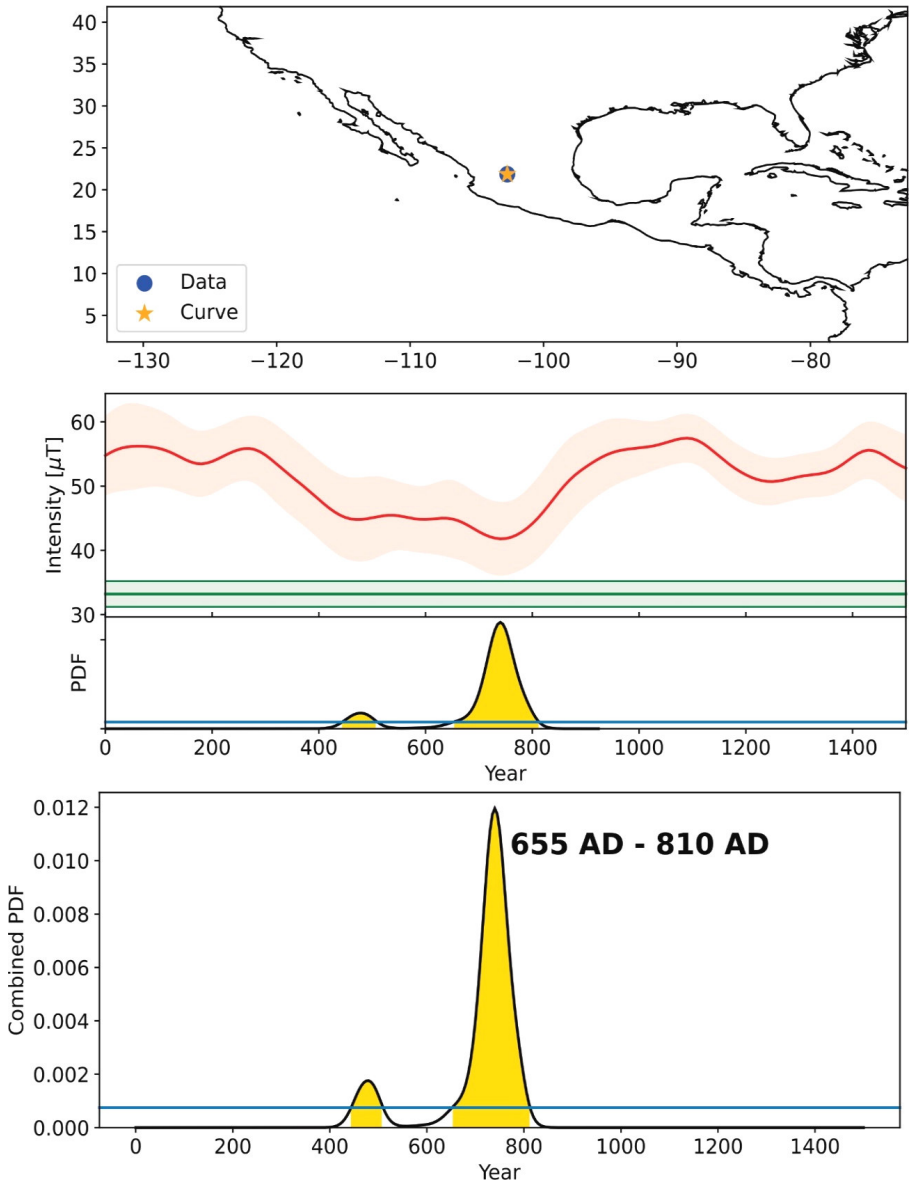

Figura 7. Datación arqueomagnética obtenida mediante la aqueointensidad absoluta. En negritas se indica el intervalo de edad que mejor se ajusta al contexto arqueológico.

de calentamiento y enfriamiento, lo que indica un comportamiento estable y cuasi reversible. Este patrón sugiere la ausencia de transformaciones mineralógicas relevantes inducidas térmicamente, por lo que la muestra se considera adecuada para experimentos de arqueointensidad.

En términos mineralógicos, el principal portador de la señal magnética corresponde a fases cercanas al extremo rico en hierro de la serie sólida de las titanomagnetitas (próximas a magnetita). Por su parte, la hematita se encuentra presente en proporciones menores, sin contribuir de manera significativa a la adquisición de la magnetización termorremanente. Es una característica principalmente de las muestras rojo pulido que fue seleccionada para los experimentos de paleointensidad mediante el método de doble calentamiento de Thellier (Thellier y Thellier 1959).

Las determinaciones de intensidad absoluta del campo geomagnético, llamada también arqueointensidad absoluta, se llevaron a cabo siguiendo el protocolo clásico de Thellier y Thellier (1959) en su versión modificada por Coe (1967, 1978).

El procedimiento experimental consistió en ciclos sucesivos de doble calentamiento, realizados mediante un desmagnetizador térmico de doble cámara modelo TD-48 (ASC *Scientific*), lo que permitió la adquisición progresiva de magnetización parcial termorremanente (pTRM) bajo condiciones controladas. La fiabilidad de los resultados fue evaluada con base en los criterios de calidad propuestos por Paterson *et al.* (2014), conside-

rando exclusivamente aquellas determinaciones clasificadas dentro de las categorías A y B (tabla 1). A partir de seis determinaciones obtenidas en fragmentos cerámicos correspondientes a la muestra OCC3 (tipo rojo pulido), se calculó un valor promedio de intensidad de 33.2 ± 0.85 µT (figura 6). La estimación cronológica se realizó mediante la comparación de estos valores con el modelo geomagnético SHAWQ.2k (Campuzano *et al.* 2019), así como con la curva local de variación secular propuesta por García-Ruiz *et al.* (2022).

Ambos enfoques proporcionan intervalos arqueomagnéticos parcialmente traslapados: mientras que la curva local sugiere un rango relativamente amplio entre *c.* 580 y 825 d.C., el modelo SHAWQ.2k restringe la estimación a un intervalo más acotado entre *c.* 655 y 810 d.C., el cual se ajusta mejor al contexto arqueológico del sitio El Ocote (figura 7) y es consistente con los resultados reportados por Cejudo *et al.* (2019) de un estudio arqueomagnético realizado sobre estructuras quemadas localizadas en el mismo sitio.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que las ollas globulares monocromas con recubrimiento arcilloso externo del sitio arqueológico El Ocote constituyen un tipo cerámico tecnológicamente distintivo dentro del repertorio regional del Clásico Tardío-Epiclásico. La integración de análisis geoquímicos y magnéticos permitió abordar de manera multidisciplinar tanto su origen como sus condiciones de manufactura, uso y cronología.

Desde el punto de vista geoquímico, los resultados obtenidos mediante FRX indican composiciones compatibles con materias primas derivadas de rocas de afinidad intermedia a félsica, en concordancia con el contexto geológico regional dominado por unidades ignimbríticas. Las variaciones elementales observadas entre superficies (frente y reverso), particularmente los enriquecimientos en Ca asociados a posibles carbonatos y en elementos como V y Cr en superficies externas, sugieren no solo procesos *posdeposicionales* diferenciados, sino también la posible aplicación intencional de recubrimientos o pigmentos durante la manufactura. Estas diferencias, aunadas a la comparación con conjuntos previamente analizados, apuntan a la existencia de variabilidad tecnológica, ya sea en la selección de materias primas o en las prácticas de producción.

Respecto a las propiedades magnéticas, las curvas termomagnéticas continuas evidencian un comportamiento razonablemente estable y cuasi reversible, indicando la ausencia de transformaciones mineralógicas significativas durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento. Este comportamiento confirma la idoneidad de las muestras —particularmente las de tipo rojo pulido— para estudios de arqueointensidad. La mineralogía magnética está dominada por titanomagnetitas pobres en titanio (fases cercanas a magnetita), con una contribución de hematita que no influye de manera significativa en la magnetización termorremanente.

Los experimentos de arqueointensidad, realizados mediante el método de Thellier y Thellier modificado, y evaluados bajo criterios estrictos de calidad (clases A y B), proporcionaron un valor promedio de 33.2 ± 0.85 µT. La comparación de este resultado con el modelo geomagnético SHAWQ.2k desarrollado por Campuzano *et al.* (2019) y con la curva local de variación secular propuesta por García-Ruiz *et al.* (2022) permitió acotar la cronología de uso de estas vasijas a un intervalo comprendido, de manera más consistente, entre *c.* 655 y 810 d.C., el cual se ubica dentro del Epiclásico regional.

Este intervalo cronológico es coherente y complementario con los resultados previamente reportados por Cejudo *et al.* (2019), quienes documentaron, a partir de otros materiales cerámicos del mismo sitio, ocupaciones comprendidas dentro de este mismo marco temporal. La convergencia entre ambos estudios refuerza la confiabilidad de las determinaciones arqueomagnéticas y sugiere una ocupación sostenida del sitio durante el intervalo Epiclásico, caracterizada por la continuidad en las prácticas tecnológicas, pero también por cierta diversidad en la producción cerámica.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por los proyectos SECIHTI CBF-2025-I-464 y DGAPA-PAPIIT IN100224.

REFERENCIAS

Campuzano, S.A. *et alii*. 2019. Emergence and evolution of the South Atlantic Anomaly revealed by the new paleomagnetic reconstruction SHAWQ2k. *Earth and Planetary Science Letters* 512: 17-26.

Cejudo, R. *et alii*. 2019. Intervención arqueomagnética en El Ocote (Aguascalientes, México): implicaciones cronológicas absolutas. *Arqueología Iberoamericana* 44: 3-9.

Coe, R.S. 1967. The Determination of Paleo-Intensities of the Earth's Magnetic Field with Emphasis on Mechanisms which Could Cause Non-ideal Behavior in Thellier's Method. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity* 19, 3: 157-179.

Coe, R.S. *et alii*. 1978. Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *Journal of Geophysical Research*: Solid Earth 83, B4: 1740-1756.

García, R. *et alii*. 2020. Caracterización magnética, geoquímica y colorimétrica de la cerámica de El Ocote (Aguascalientes, México). *Arqueología Iberoamericana* 46: 3-10.

García-Ruiz, R. *et alii*. 2022. Fluctuations of magnetic inclination and declination in Mexico during the last three millennia. *Quaternary Geochronology* 71: 101309.

Leonhardt, R. *et alii*. 2004. Analyzing absolute paleointensity determinations: Acceptance criteria and the software ThellierTool4.0. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 5, 12: Q12016. <https://doi.org/10.1029/2004GC000807>.

Paterson, G.A. *et alii*. 2014. On improving the selection of Thellier-type paleointensity data. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 15, 4: 1180-1192.

Pelz, A.M. 2013. *Proyecto de Investigación Arqueológica El Ocote, Municipio de Aguascalientes, Aguascalientes*. Informe técnico parcial, temporada 2013. Centro INAH-Aguascalientes, México.

Pelz, A.M.; J.L. Jiménez. 2016. El Ocote, Municipio de Aguascalientes, Aguascalientes. Informe técnico parcial, temporada 2015. Centro INAH-Aguascalientes, México.

Thellier, E.; O. Thellier. 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Annales de Géophysique* 15: 285-376.