

RESEARCH ARTICLE

**CERÁMICA DE EL OCOTE (AGUASCALIENTES, MÉXICO):
SOBRE LA RELACIÓN ENTRE LA ESTIMACIÓN DE LA
ARQUEOINTENSIDAD GEOMAGNÉTICA Y EL COLOR**
*Pottery from El Ocote (Aguascalientes, Mexico): On the Relationship
between the Estimation of Geomagnetic Archaeointensity and Color*

*Rafael García-Ruiz,¹ Juan Morales,¹ Miguel Cervantes-Solano,¹
Avto Goguitchaichvili,¹ Ana Pelz-Marín,² Rubén Cejudo,^{1,3}
Francisco Bautista³*

¹ Laboratorio Interinstitucional de Arqueomagnetismo (Servicio Arqueomagnético Nacional), Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, UNAM, México; ² Centro INAH Aguascalientes, México; ³ Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, México
(r.garcia@igeofisica.unam.mx)

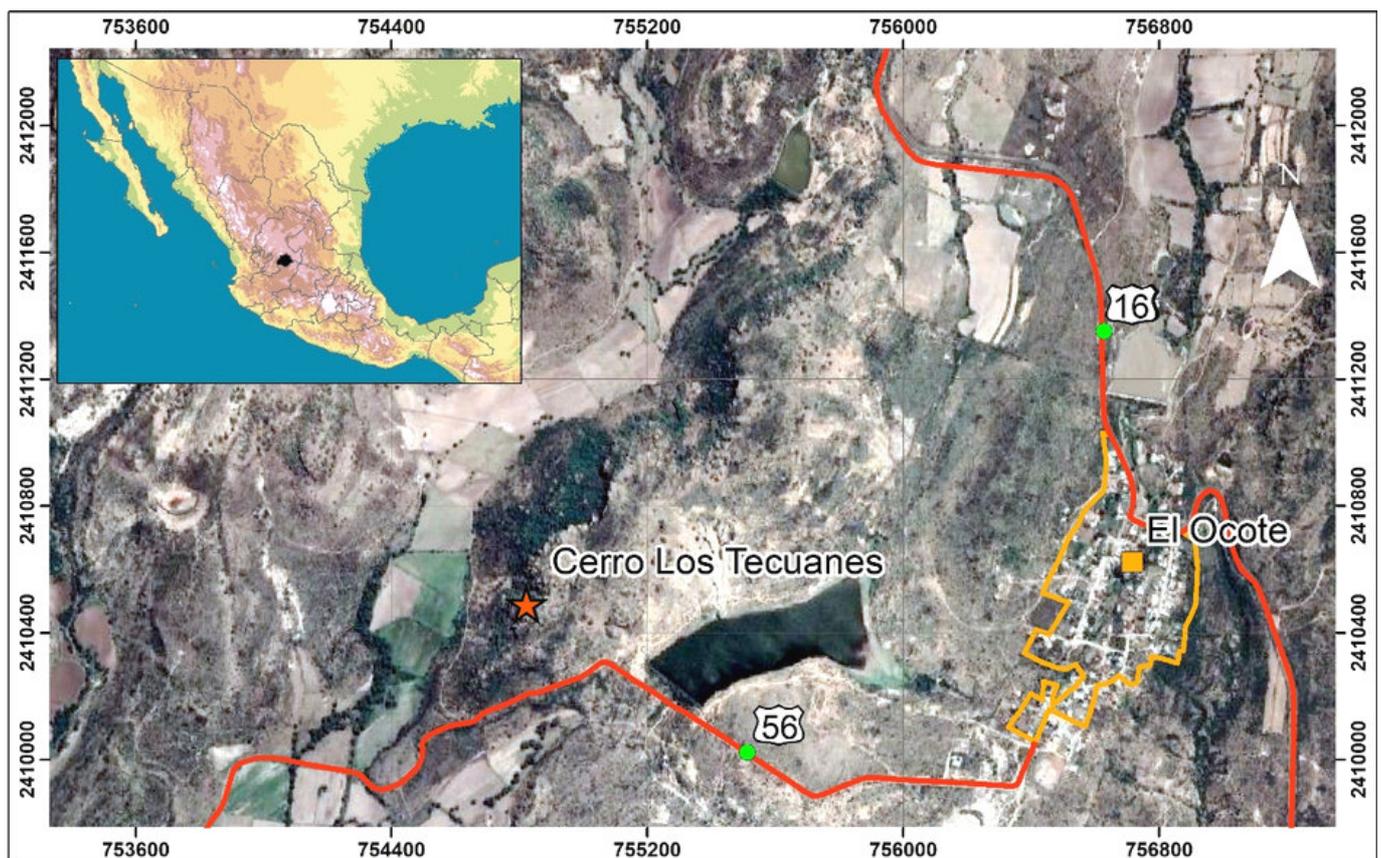


Figura 1. Localización geográfica de la zona arqueológica de El Ocote al sur del Estado de Aguascalientes, México.

RESUMEN. *El Ocote es un sitio arqueológico que se localiza en el Estado de Aguascalientes, dentro de la parte alta del Cerro de los Tecuanes. Gracias a recientes trabajos de investigación por parte del Instituto Nacional de Antropología e*

Recibido: 15-2-2021. Aceptado: 4-3-2021. Publicado: 18-3-2021.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea. English proofreading by George Chambers.
Arqueol. Iberoam. Open Access Journal. License CC BY 3.0 ES. <http://purl.org/aia/4712>.

Historia (INAH), se han encontrado diversos vestigios culturales pertenecientes a grupos sedentarios del Epiclásico (650-900 d. C.) anteriores a los chichimecas, quienes practicaban la agricultura, la caza, la pesca y la alfarería. Dichos grupos desarrollaron diversos artefactos, como vasijas, figurillas y cajetes de uso común o ceremonial, los cuales tienen rasgos diversos y pigmentaciones con colores como Rojo/Crema, Crema, Rojo/Bayo, Naranja Pulido, Rojo Pulido, Café Pulido, Rojo, Café/Bayo Pulido y Negro. Dichas cerámicas han sido poco estudiadas y son objeto del presente estudio arqueomagnético para determinar los minerales que las componen mediante experimentos de magnetismo de rocas, su intensidad arqueomagnética, así como su color por ambos lados para conseguir un criterio de selección del color en la obtención de la intensidad, además de estimar su edad a partir de las curvas de variación paleosecular de la intensidad. Dentro de las nueve muestras cerámicas estudiadas, se aceptaron seis debido a su estabilidad termomagnética, contando con una presencia predominante de titanomagnetitas en alto y bajo contenido de titanio. Fue posible determinar de manera exitosa cuatro intensidades y estimar sus edades asociadas, las cuales correspondieron al Epiclásico. Se encontraron correlaciones entre los parámetros de color con la coercitividad de remanencia, la magnetización de saturación y los cocientes derivados de las curvas de histéresis.

PALABRAS CLAVE. *Arqueometría; arqueomagnetismo; Mesoamérica; México; Aguascalientes; cerámica; El Ocote; color.*

ABSTRACT. *El Ocote is an archaeological site located in the state of Aguascalientes, in the upper part of the Cerro de los Tecuanes. Thanks to recent research by the National Institute of Anthropology and History (INAH), several cultural remains have been found belonging to sedentary groups of the Epiclassic (650–900 AD) before the Chichimecs, who practiced agriculture, hunting, fishing and pottery. These groups developed diverse artifacts, such as vessels, figurines and bowls for common or ceremonial use, which have diverse features and pigmentations with colors such as Red/Cream, Cream, Red/Black, Polished Orange, Polished Red, Polished Brown, Red, Polished Brown/Black and Black. These ceramics have been little studied and are the object of the present archaeomagnetic study to determine their composite minerals by means of experiments investigating the magnetism of the rocks, their archaeomagnetic intensity, as well as their color on both sides to get a selection criterion for color in the attainment of the intensity, besides estimating their age from the paleosecular variation curves of the intensity. Among the nine ceramic samples studied, six were accepted due to their thermomagnetic stability, with a predominant presence of titanomagnetites with high and low titanium content. It was possible to successfully determine four intensities and estimate their associated ages, which corresponded to the Epiclassic. Correlations were found between color parameters with remanence coercivity, saturation magnetization and ratios derived from hysteresis curves.*

KEYWORDS. *Archaeometry; archaeomagnetism; Mesoamerica; Mexico; Aguascalientes; pottery; El Ocote; color.*

INTRODUCCIÓN

El sitio arqueológico de El Ocote es un asentamiento localizado en el Estado de Aguascalientes en el que se han desarrollado trabajos de investigación desde el año 2000 (Jiménez-Meza 2014; Cejudo-Ruiz *et al.* 2019; García *et al.* 2020), encontrando vestigios culturales en los alrededores de los terrenos ejidales de uso forestal y de agostadero. La zona arqueológica está cerca de la comunidad de El Ocote, a 40 km de la ciudad de Aguascalientes, en la parte alta del Cerro de los Tecuanes. Hasta la fecha se conoce que el asentamiento perteneció a grupos sedentarios que practicaban la agricultura, la caza, la pesca y la alfarería, siendo anteriores a los chichimecas (Pelz-Marín y Jiménez-Meza 2013;

Pelz-Marín 2014). Se sabe que su desarrollo primordial tuvo lugar en el periodo Epiclásico (650-900 d. C.) gracias al análisis de la cronología prehispánica (Jiménez-Meza 2014).

Estos grupos se adaptaron a su medio aprovechando los recursos de su alrededor: la fauna, los materiales o las arcillas para producir diversos artefactos, entre los cuales destacan las vasijas, las figurillas y los cajetes para uso común o ceremonial. Dichos artefactos han permitido comparar diversos rasgos y pigmentaciones en sus cerámicas con asentamientos contemporáneos ubicados en las cercanías de Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Michoacán, Colima y Durango, entre otros; lo que confirma el intercambio cultural y de productos observado dentro de ciertos rasgos que comparten en sus

cerámicas (Jiménez-Meza 2014). En El Ocote se han desarrollado diversas intervenciones. Las más recientes han tenido lugar a los pies del Cerro de los Tecuanes, en donde ha sido posible recuperar material cultural como cerámicas prehispánicas. Dichas cerámicas son diversas entre sí, lo cual ha llevado a su clasificación para establecer un marco de referencia respecto a sus características físicas y tecnológicas con el fin de poder ubicarlas cronológica y espacialmente como de manufactura local o foránea. Entre las características de las cerámicas encontradas en la zona de estudio se observa que tienen diversos colores contrastantes sobre cajetes y ollas.

Materiales arqueológicos como la cerámica, el ladrillo, la teja y los hornos, entre otros, contienen partículas magnéticas y adquieren una remanencia, la cual depende de la dirección y la intensidad del campo geomagnético presente en el momento de la manufactura o de su último uso, quedando registrada cuando alcanzan temperaturas por debajo de la temperatura de Curie (Aitken 1990) durante el enfriamiento; este es el principio de la datación arqueomagnética.

Si se conocen con precisión las variaciones del campo geomagnético en el pasado, es posible establecer un registro de variación temporal (curva de variación secular), el cual puede utilizarse como método de datación y se conoce como datación arqueomagnética. Debido a esto puede ser tan preciso como los métodos de datación radiométricos (Tauxe 2010; Genevey y Gallet 2002). Por otro lado, las características de dirección e intensidad de la magnetización remanente presente en los materiales arqueológicos pueden recuperarse mediante tratamientos experimentales y compararse con las esperadas según las curvas de variación paleosecular. Así se obtiene el intervalo de edad más probable para la fabricación o último uso.

La recuperación de la dirección de magnetización requiere que los objetos estudiados se hallen *in situ* o que se conozca su posición original. Sin embargo, para determinar la intensidad (denominada arqueointensidad para el caso de materiales arqueológicos) no es necesario conocer la posición original del objeto.

Los procedimientos para determinar la dirección del campo geomagnético se encuentran más o menos estandarizados, pero la determinación de la arqueointensidad requiere experimentos sofisticados y los resultados se caracterizan por una dispersión muy superior a la de las determinaciones direccionales y una tasa de éxito relativamente baja en las evaluaciones. Actualmente, existen diferencias sobre la mejor manera de obte-

ner estimaciones confiables de la paleointensidad. Los métodos de determinación que cuentan con un fundamento físico más riguroso y proporcionan los resultados más fiables son los basados en el método original de Thellier (Thellier 1937; Thellier y Thellier 1959; Coe 1967; Yu *et al.* 2004; Yu y Tauxe 2005). También se han propuesto nuevos métodos para evitar o minimizar los problemas relacionados con las alteraciones químico-mineralógicas en los especímenes utilizados en los experimentos de paleointensidad (Biggin y Poidras 2006; Dekkers y Böhnelt 2006).

Los distintos métodos de determinación de la paleointensidad se basan en diferentes procedimientos, los cuales dependen de distintos factores, como la temperatura o el campo aplicado durante las etapas del experimento, pero en todos ellos existe una etapa previa de selección que considera principalmente la estabilidad térmica de las muestras seleccionadas para los experimentos (p. ej., Dunlop 2011 y las referencias citadas en dicho artículo).

El presente estudio tiene como objetivo el obtener las intensidades arqueomagnéticas de nueve fragmentos cerámicos, así como establecer un criterio de selección a partir del color de las muestras que garantice una elección exitosa de las mismas. La determinación de las intensidades arqueomagnéticas permitirá ubicar su marco temporal dentro del Epiclásico mediante el método de datación arqueomagnética, a partir de las curvas de variación paleosecular (CVP) de la intensidad para los últimos mil años.

CERÁMICA

La cerámica de origen arqueológico de Aguascalientes ha sido poco estudiada. La mayoría de los estudios realizados son prospecciones arqueológicas en salvamentos dentro de proyectos carreteros, líneas eléctricas, gasoductos (Porcayo 2001), vías de comunicación, trabajos de atención en denuncias, identificación de pinturas rupestres, petroglifos, así como en pozos de saqueo. En tales procesos de recolección solo se hace una breve descripción del método de análisis.

Este estudio se trabajó con nueve fragmentos cerámicos encontradas en el Cerro de los Tecuanes durante las más recientes campañas de exploración realizadas en El Ocote por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) (figura 1). Se trata de tiestos o tepalcates, artefactos arqueológicos con gran presencia en la región, que fueron clasificados por tipos de color:

Rojo/Crema, Crema, Rojo/Bayo, Naranja Pulido, Rojo Pulido, Café Pulido, Rojo, Café/Bayo Pulido y Negro (Jiménez-Meza 2014). Los tiestos de la presente región son, en su mayoría, monocromos. Solo las muestras Bayo y Café Pulido son *seudo-cloisonné* por *tabicar* o utilizarse en la fabricación de celdas sobre una capa después de la cocción (Castillo 1968). Estos, a su vez, se clasificaron en bordes de olla y cajetes o cuerpos de olla y cajetes, así como platos y vasos.

Los artefactos del presente estudio son nueve y se clasifican como tipos Bayo, Café Pulido, Crema, Gris, Guinda, Negro Pulido, Naranja, Rojo Bruñido y Rojo Pulido (figura 2). El Rojo Pulido, Café Pulido y Negro Pulido pueden estar asociados a funciones domésticas, a diferencia del Rojo Bruñido, que es partícipe de funciones ceremoniales o incluso jerárquicas.

DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras Bayo, Café Pulido, Crema, Guinda, Negro Pulido y Rojo Pulido (figura 2) se consideran monocromas, siendo las muestras en Café las de mayor abundancia, así como las más trabajadas. Por el contrario, las muestras en Guinda son las de menor frecuencia. Las muestras Bayo y Crema son muy parecidas en cuanto a sus formas: ollas con bordes de pared recta divergente, labio biselado y plano, curvo-divergente, labio redondeado, ollas con acabados de superficie en el exterior y cajetes con acabado en el interior y exterior. Las muestras tipo Bayo y Café Pulido se consideran como tipo *seudo-cloisonné* por la pasta que tienen, la cual, al desprenderse del color, deja expuesta la base donde se aplicó. El Café Pulido se encontró en ollas cónicas con soportes sólidos, con un acabado en la superficie que presenta un pulimento conocido como *pulido a palillos*, en conjunto con un acabado fino a mano. Las cerámicas en Crema son alisadas. Las cerámicas Gris y Naranja se encuentran en baja concentración. La cerámica Gris tiene un acabado o engobe en tono gris, correspondiente a pequeños cajetes curvo-divergentes de labio redondeado. La muestra Guinda posee una textura deleznable o poco compactada; tiene minerales de grano fino a medio, con cocción irregular y presenta técnicas de modelado. Se presenta en cuerpos y bordes de olla, así como en cajetes. El color Guinda va desde un tono bajo en rojo a tintes en color café. Los bordes de olla son de pared curva divergente de labio redondeado, plano y biselado. Los cajetes solo tienen un cuerpo de características similares en acaba-

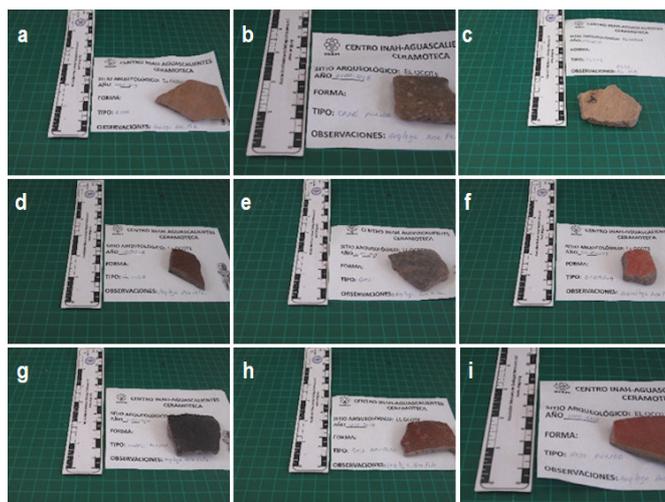


Figura 2. Detalle de los fragmentos cerámicos estudiados: a) Bayo, b) Café Pulido, c) Crema, d) Gris, e) Guinda, f) Naranja, g) Negro Pulido, h) Rojo Bruñido, i) Rojo Pulido.

do a la superficie de las ollas. El color Rojo Pulido aparece pintado en cuerpos de olla y cajetes con un pulido en el exterior, mientras que en el interior solo se encuentra a la altura de la boca. Los cajetes exhiben este color en el interior y el exterior.

Las muestras son prehispánicas y no presentan decoración alguna. Los fragmentos estudiados fueron elaborados con barro o arcilla del lugar por el tipo de materias primas aledañas al sitio de estudio, ricas en sedimentos arcillosos y desgrasantes incrustados en las pastas, como fragmentos de cuarzo, ignimbritas molidas, arenas y tobas. Tales elementos son observados a simple vista o con la ayuda de una lupa. Esto indica que las cerámicas estudiadas fueron desarrolladas localmente y que la cocción observada en las muestras suele ser irregular.

METODOLOGÍA

Con la finalidad de determinar la naturaleza de los minerales magnéticos presentes en las muestras estudiadas, así como de establecer la estabilidad térmica y magnética de la remanencia presente en ellas, se realizaron experimentos de magnetismo en rocas y tratamientos magnéticos en los laboratorios del Servicio Arqueomagnético Nacional. Estos experimentos permiten seleccionar las muestras más adecuadas para obtener la arqueointensidad del campo magnético terrestre registrado en ellas en el momento de su fabricación o último uso por medio del protocolo de Thellier-Coe (Thellier y Thellier 1959; Coe *et al.* 1978).

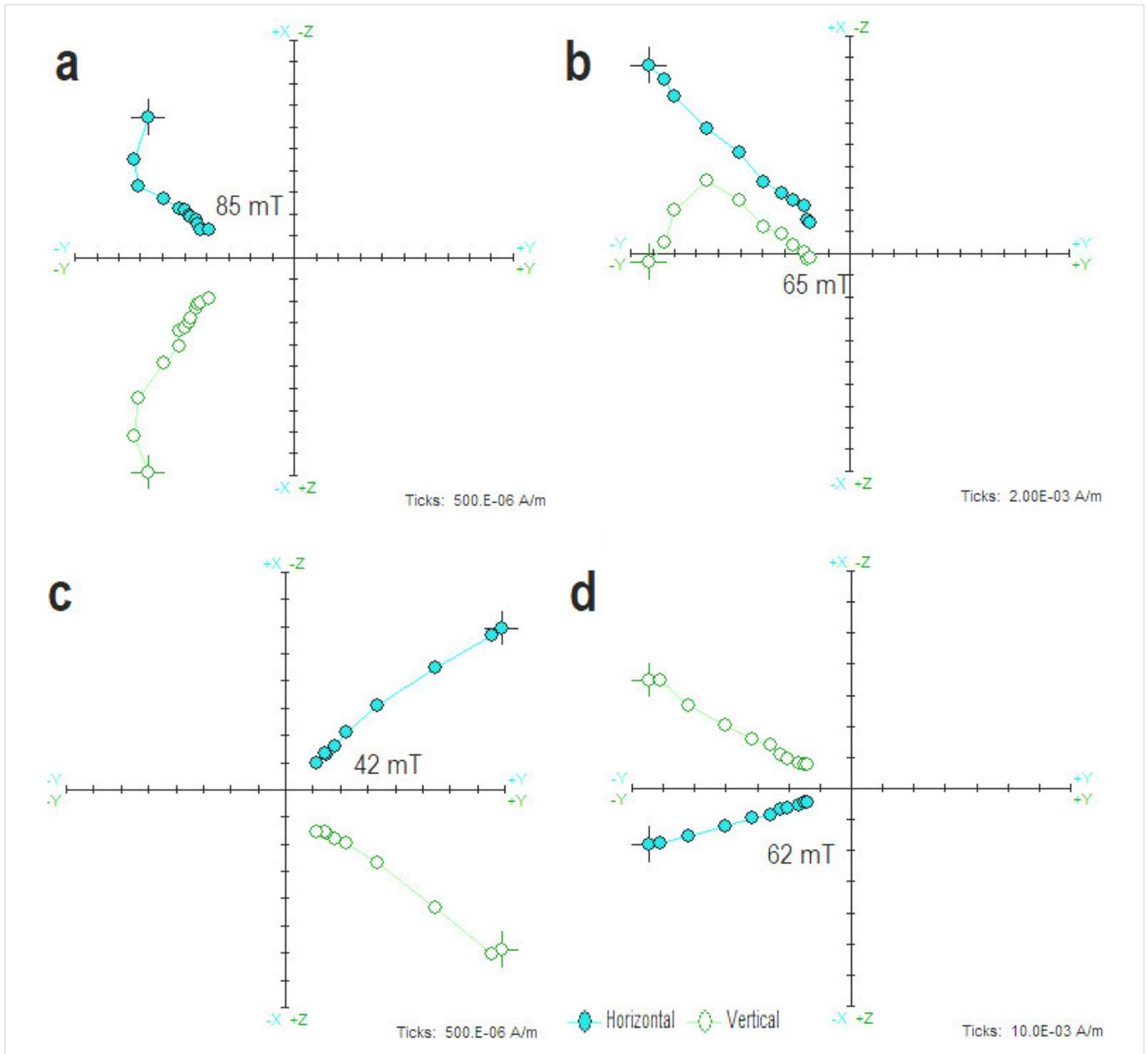


Figura 3. Diagramas ortogonales de desmagnetización por campos alternos:
a) Café Pulido, b) Naranja, c) Rojo Bruñido y d) Rojo Pulido.

Para establecer la estabilidad magnética y determinar las características direccionales de la remanencia de las muestras, pequeños fragmentos de las cerámicas fueron sometidos a un proceso de desmagnetización mediante la aplicación progresiva de campos alternos (AF) en incrementos de 5 mT, alcanzado una intensidad máxima de 85 mT, mediante un desmagnetizador *AGICO LDA-3 AF*. Después de cada paso de desmagnetización, la magnetización remanente fue medida con un magnetómetro *AGICO JR6*. Un primer criterio de selección para las muestras que fueron utilizadas en los experimentos de arqueointensidad fue emplear solamente aquellas que exhibieron una sola componente

lineal de magnetización en los diagramas ortogonales y se rechazaron las que presentaron componentes múltiples o un comportamiento caótico durante los tratamientos magnéticos de desmagnetización.

La estabilidad térmica y la determinación de los minerales magnéticos se realizó midiendo la susceptibilidad magnética en función de la temperatura (curvas $\kappa-T$) con ayuda de un susceptibilímetro *AGICO* modelo *MFK1A* equipado con horno. Para determinar la temperatura de Curie se calentó aproximadamente un gramo de polvo de cada muestra hasta alcanzar los 600 °C a un ritmo de calentamiento de 15 °C/min y, posteriormente, las muestras fueron enfriadas al mismo ritmo.

mo hasta la temperatura ambiente. Los puntos de Curie se determinaron observando en las curvas la caída en susceptibilidad magnética que corresponde a la destrucción de las fases ferromagnéticas según el método propuesto por Prévot *et al.* (1983). La estabilidad térmica se estimó a partir de la reversibilidad de las curvas de calentamiento y enfriamiento. Para los experimentos de arqueointensidad se seleccionaron las muestras que mostraron una estabilidad térmica. Se realizaron también experimentos de magnetización remanente isothermal (IRM), curvas de histéresis magnética y coercitividad utilizando una balanza de traslación horizontal de campos variables (VFTB por sus siglas en inglés) por su sensibilidad y versatilidad para medir las propiedades magnéticas de los materiales.

Una vez que se seleccionaron las muestras que cumplieron los criterios, se determinaron las arqueointensidades siguiendo el protocolo de Thellier-Coe (Thellier y Thellier 1959; Coe *et al.* 1978). El campo magnético de laboratorio fue de 50 μT , con una precisión de 0.1 μT . El proceso experimental se llevó a cabo haciendo uso de un horno de desmagnetización térmica *ASC TD-48* y un magnetómetro de giro *JR6-A* marca *AGICO*. En total se llevaron a cabo 14 pasos de temperatura empezando desde los 100 °C hasta los 560 °C a lo largo de todo el experimento. Los seis tiestos cerámicos se dividieron en siete fragmentos y se prensaron en pastillas de sal. Seis de los siete fragmentos fueron orientados en seis posiciones diferentes $\pm X$, $\pm Y$ y $\pm Z$. El séptimo fragmento se orientó de forma aleatoria para mitigar el efecto de la anisotropía magnética (Morales *et al.* 2011, 2012; Hervé *et al.* 2019). Durante los experimentos de Thellier-Coe, el campo magnético se aplicó a lo largo del eje $+Z$.

Al finalizar el experimento, se efectuó la corrección por diferencias de ritmo de enfriamiento mediante un protocolo modificado a partir del empleado por Chauvin *et al.* (2000), realizando tres pasos consecutivos de enfriamientos a altas temperaturas (rápido, lento y rápido) para estimar el efecto del ritmo de enfriamiento y corregir los valores de la intensidad obtenida.

Posteriormente, la intensidad media se corrigió mediante el protocolo de anisotropía de la magnetización anhisterética (ARM, por sus siglas en inglés) en seis posiciones que se ajustan al mejor elipsoide (Paterson 2013; McCabe *et al.* 1985; Veitch *et al.* 1984). Para que las intensidades obtenidas se consideren confiables, se deben seguir criterios específicos de calidad: a) el número de pasos (N) en el experimento de Thellier-Coe debe ser ≥ 6 , con una fracción (f) de la magnetización

natural remanente (NRM, por sus siglas en inglés) ≥ 0.3 y un factor de calidad $q > 1$; b) la máxima desviación angular (MAD, por sus siglas en inglés) debe ser $\leq 12^\circ$, con una curvatura (k') en el diagrama de Arai ≤ 0.36 ; y c) las intensidades promediadas deben ser obtenidas a partir de, al menos, dos especímenes y con una desviación estándar ≤ 7 .

ESTIMACIÓN DE PROBABLES INTERVALOS DE EDADES Y COLORIMETRÍA

La datación arqueomagnética se realizó mediante la herramienta *Matlab* desarrollada por Pavón-Carrasco *et al.* (2011), la cual utiliza el modelo de variación del campo magnético terrestre *SHA.DIF.14k* propuesto por Pavón-Carrasco *et al.* (2014). Este modelo fue desarrollado empleando datos arqueomagnéticos y de flujos de lava distribuidos globalmente e incluye, además, los registros históricos del modelo *GUFMI* (Jackson *et al.* 2000). Este modelo puede usarse como herramienta de datación, ya que permite hacer una comparación de los datos direccionales y de intensidad de los sitios estudiados con los de la curva de variación correspondiente. De esta forma es posible proporcionar un intervalo de edad probable. En este caso se utilizó también la curva de variación paleosecular regional más reciente para México (García-Ruiz *et al.* 2021).

Paralelamente, se hicieron análisis de color a las nueve muestras utilizando un colorímetro *Konica Minolta CR-5*, con un observador a 2° y un iluminante D65. Se obtuvieron los parámetros de color en el sistema *CIE-L*a*b** y Munsell, donde el parámetro L^* representa la luminosidad, a^* es la coordenada de rojo a verde y b^* la coordenada de amarillo a azul. Los parámetros de color permiten obtener las diferencias de color entre ambos lados de las cerámicas:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

donde ΔE indica la magnitud de la diferencia de color, ΔL la diferencia en claridad (+) y oscuridad (-), Δa la diferencia en rojo (+) y verde (-) y Δb la diferencia en amarillo (+) y azul (-).

Los parámetros de color permiten obtener los índices de rojez RI y rojez relativa a_r (Kirillova *et al.* 2014; Vodyanitskii y Savichev 2017), utilizados ampliamente en estudios de suelos para encontrar hematita, característica por su tono rojo. Mediante los parámetros

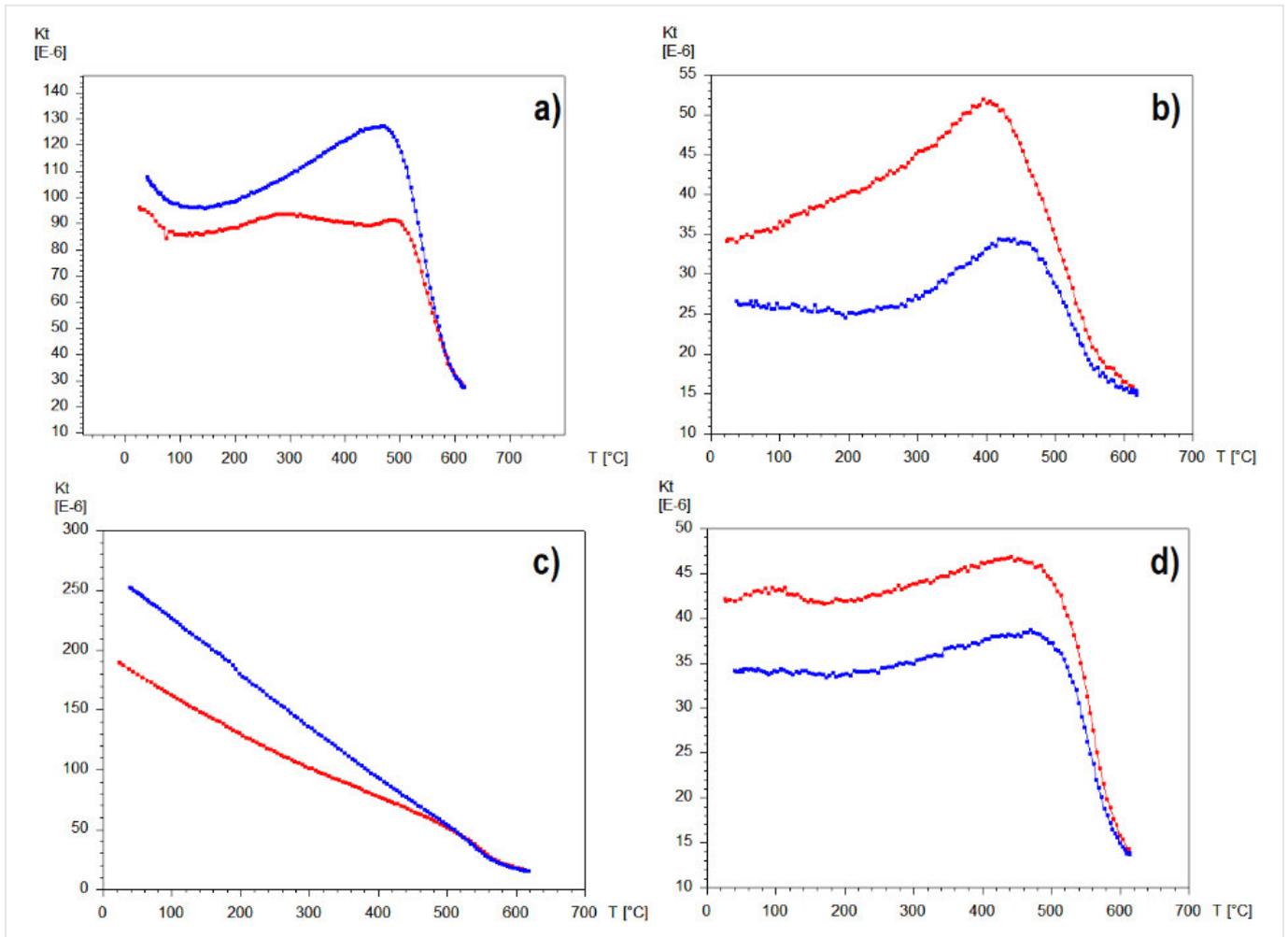


Figura 4. Curvas de susceptibilidad en función de la temperatura de las muestras. La curva en color rojo muestra la variación durante el calentamiento y la curva en color azul durante el enfriamiento: a) Guinda, b) Café Pulido, c) Gris y d) Bayo.

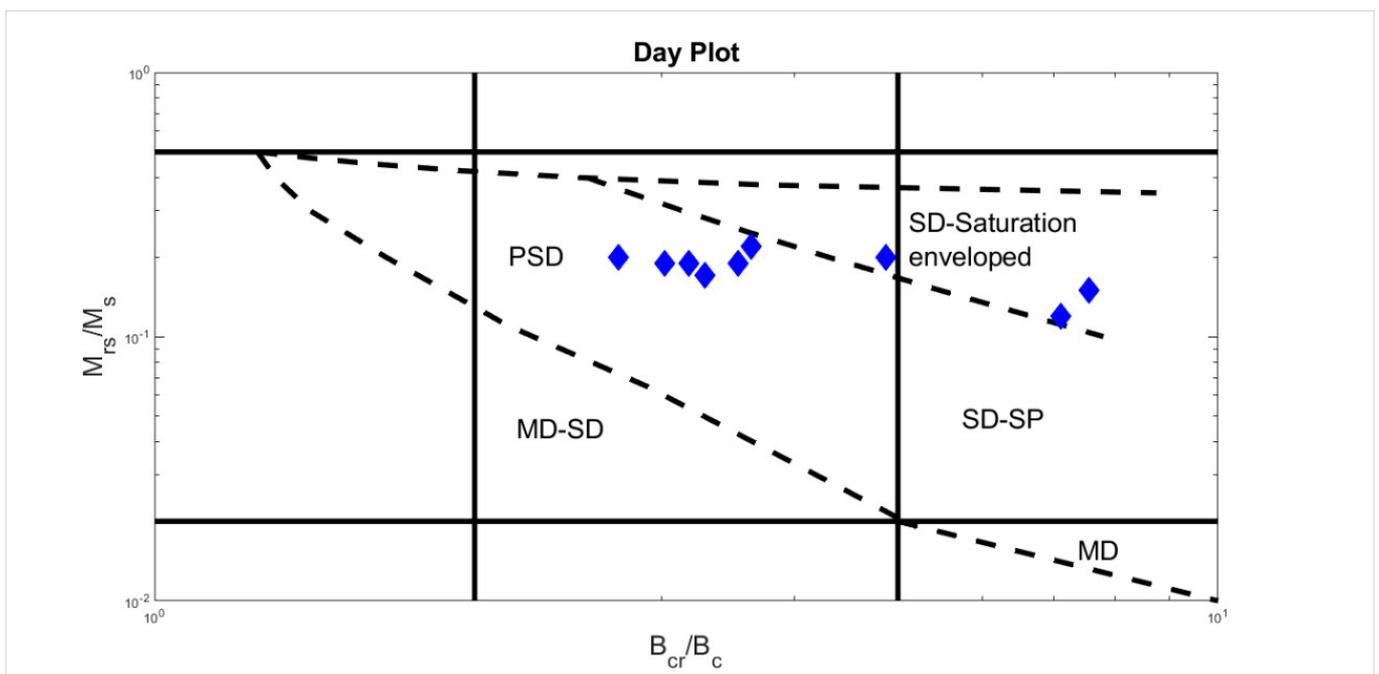


Figura 5. Diagrama de Day de las nueve cerámicas analizadas dentro del presente estudio.

Tabla 1. Parámetros de color L*, a* y b*, junto con los índices de rojez (RI) y rojez relativa (ar).

Cerámica	L*	a*	b*	RI	ar	Color
Crema_inf	61,15	5,23	18,02	1,04	0,29	Marrón Pálido
Crema_sup	55,19	2,32	12,62	0,83	0,18	Marrón Grisáceo
RojoB_inf	38,22	1,16	6,14	3,79	0,19	Gris Rojizo Oscuro
RojoB_sup	38,89	16,24	16,31	66,24	1,00	Café Rojizo
RojoP_inf	50,42	5,99	15,75	3,90	0,38	Café
RojoP_sup	42,01	15,43	16,63	38,29	0,93	Café Rojizo
Gris_inf	41,18	1,29	6,24	2,70	0,21	Gris Oscuro
Gris_sup	45,58	1,69	7,31	1,93	0,23	Gris Oscuro
Bayo_inf	59,41	4,59	16,1	1,09	0,29	Marrón Pálido
Bayo_sup	53,11	7,57	20,17	3,60	0,38	Marrón Pálido

de Munsell y las tablas Munsell, se identificó la diferencia que hay entre las muestras, etiquetándolas con un nombre nuevo.

Por último, con la finalidad de encontrar una posible relación entre los resultados de los experimentos de arqueointensidad, se realizó un análisis entre las intensidades obtenidas, el número de especímenes utilizados para la determinación y los parámetros magnéticos con la diferencia de color de cada cerámica mediante una correlación entre los coeficientes, calculando su dependencia lineal con el propósito de conseguir una relación entre las intensidades obtenidas y el color representativo de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró desmagnetizar todas las muestras por medio de campos alternos. De las nueve muestras analizadas, solo se aceptaron seis, que son las de tipo Bayo, Crema, Gris, Negro Pulido, Rojo Bruñido y Rojo Pulido; rechazando las tres restantes (Naranja, Guinda y Café Pulido), ya que mostraron tener componentes secundarios o de origen viscoso en los diagramas ortogonales de Zijderveld (figura 3).

Las temperaturas de Curie evidencian la presencia de titanomagnetitas con bajo y alto contenido de titanio. La mayoría de las muestras tuvieron un comportamiento ferromagnético muy similar al calentar y enfriar, como las cerámicas de tipo Rojo Pulido y Rojo Bruñido, las cuales comparten temperaturas de Curie, sugiriendo un calentamiento (cocción o último uso) final similar. Se observó la presencia de elementos antiferromagnéticos en las muestras Guinda y Café Pulido, así como un comportamiento posiblemente paramagnético en la muestra Gris (figura 4). Las curvas termo-

magnéticas presentan un comportamiento reversible entre su calentamiento y enfriamiento, con Tc que van desde los 480 °C hasta los 596 °C. Solo la muestra Café Pulido parece corresponder a hematita, con una temperatura de Néel por encima de los 650 °C (figura 4). A partir del análisis de las curvas de IRM, se observó que las muestras se saturaron a 300 mT, indicando minerales predominantes como magnetita y, posiblemente, maghemita. La mayoría de las muestras cerámicas poseen un dominio pseudosimple y solo las muestras Café Pulido, Gris y Crema tienen una magnetización estable (figura 5).

Los parámetros e índices de color exhiben diferencias significativas entre ambas caras de las cerámicas, con colores contrastantes y nombres diferentes a los establecidos por los arqueólogos (tabla 1). La muestra Rojo Pulido tiene un color exterior café rojizo, mientras que la cara interna es de color café, siendo más oscura con tendencia al rojo. La muestra Café Pulido posee un color marrón grisáceo oscuro en ambos lados, con un tono moderado en rojo. La cerámica Rojo Bruñido tiene un color café rojizo en el exterior y un color gris rojizo oscuro en el interior, con una tendencia más al rojo en el exterior. La muestra Guinda es en realidad de color marrón rojizo oscuro en el exterior y gris oscuro en el interior, con una mayor luminosidad en el exterior, tendiendo al rojo. Por su parte, la muestra Gris mantiene su color en el exterior y el interior como gris oscuro, siendo más luminoso en el exterior, con un pobre contenido de rojo. La muestra Negro Pulido es de color café grisáceo oscuro en ambos lados, siendo más oscuro en el exterior, con un pobre contenido en rojo. La muestra Bayo mantiene en el exterior y el interior el color marrón pálido, siendo más oscuro en el exterior. La muestra Naranja presenta un color grisáceo por dentro y rojo por fuera; es la muestra que

Tabla 2. Tabla con las cerámicas y sus especímenes con resultados positivos. Hraw es la intensidad sin corrección; f y q, parámetros de Coe *et al.* (1978); k', el parámetro de curvatura; MAD, el ángulo de máxima desviación; H_col, la intensidad corregida por la tasa de enfriamiento; H_ani, la intensidad corregida por anisotropía; VADM, el polo dipolar axial virtual; SHA.DIF.14k (cf. Pavón-Carrasco *et al.* 2014); CVPS_Mex (cf. García-Ruiz *et al.* 2021).

Muestra	Especimen	Hraw [μT]	S.d	N	f	q	k'	MAD	H_col [μT]	H_ani [μT]	VADM [Am^2]	Edad probable	
Crema	99C001	36,42	2,80	11	0,74	7,80	0,02	7,24	35,26	35,90	7,81E+22	563-840 AD	SHA.DIF.14k
	99C002	31,29	2,78	12	0,61	5,29	0,23	3,26	30,77	31,01	6,75E+22	416-988 AD	CVPS_MEX
	99C003	38,75	2,56	13	0,79	9,18	0,00	3,65	36,98	38,47	8,37E+22		
	99C005	37,09	2,26	13	0,80	10,62	0,13	1,55	35,19	33,23	7,23E+22		
	99C006	32,43	2,96	13	0,86	7,70	0,21	2,89	30,72	29,04	6,32E+22		
	99C007	33,97	2,59	13	0,88	9,51	0,27	1,81	32,47	33,21	7,23E+22		
	Promedio		33,85							33,56	33,47	7,28E+22	
S.d		3,62							2,62	3,37			
N		6,00											
Rojo Bruñido	99C015	47,15	3,46	12	0,89	10,70	0,25	10,61	43,76	44,87	9,76E+22	287-985 AD	SHA.DIF.14k
	Promedio	47,15							43,76	44,87	9,76E+22	985-1000AD	CVPS_MEX
	S.d												
	N		1										
Rojo Pulido	99C022	28,46	1,92	13,00	0,95	9,64	0,19	5,24	27,73	28,50	6,20E+22	472-977 AD	SHA.DIF.14k
	99C025	38,91	5,79	8,00	0,35	1,82	0,22	4,11	37,77	37,10	8,07E+22	138-1175AD	CVPS_MEX
	99C027	33,54	3,29	11,00	0,39	3,20	0,06	6,39	32,42	34,81	7,57E+22		
	99C028	24,20	1,67	11,00	0,97	10,95	0,36	6,35	22,94	22,77	4,95E+22		
	Promedio	31,28							30,22	30,79	6,70E+22		
S.d	6,36							6,35	6,47				
N	4,00												
Gris	99C029	30,81	2,72	13,00	0,84	8,05	0,33	11,02	29,90	29,65	6,45E+22	672-806 AD	SHA.DIF.14k
	99C030	32,05	2,87	13,00	0,81	7,56	0,31	9,79	31,00	29,73	6,47E+22	499-843 AD	CVPS_MEX
	99C031	32,05	2,87	13,00	0,81	7,56	0,31	11,62	31,03	32,18	7,00E+22		
	99C032	28,06	2,25	13,00	0,76	7,83	0,24	10,65	27,01	28,22	6,14E+22		
	99C033	24,65	2,07	11,00	0,75	7,20	0,20	10,44	23,92	25,25	5,49E+22		
	99C035	31,12	3,14	13,00	0,75	5,90	0,33	11,62	29,81	32,26	7,02E+22		
	Promedio	29,79							28,78	29,55	6,43E+22		
S.d	2,91							2,80	2,63				
N	6,00												
Bayo	99C036	30,05	3,48	10,00	0,48	2,88	0,12	5,24	29,14	31,53	6,86E+22	692-780 AD	SHA.DIF.14k
	99C037	32,87	2,68	9,00	0,48	4,18	0,02	8,12	31,83	33,73	7,34E+22	504-839 AD	CVPS_MEX
	Promedio	31,46							30,49	32,63	7,10E+22		
S.d	2,00							1,90	1,55				
N	2,00												

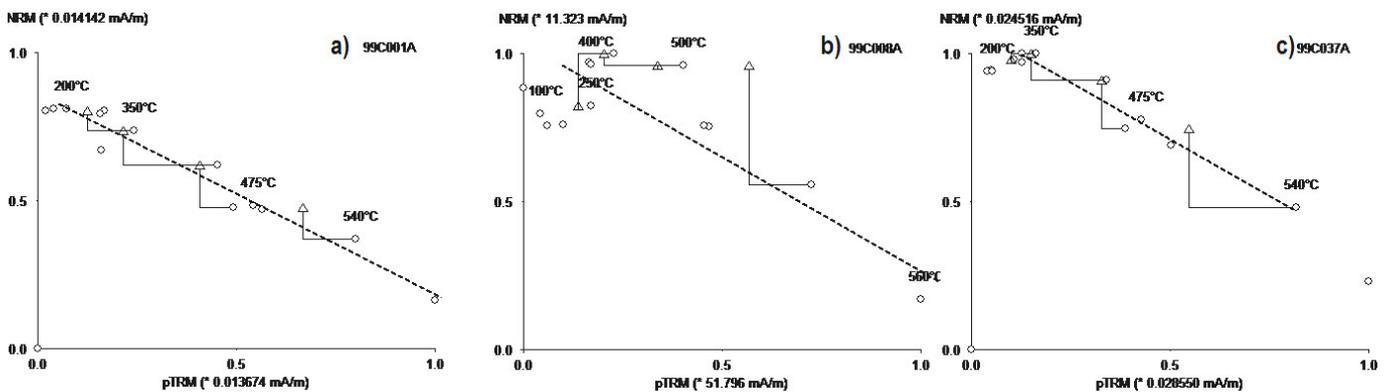


Figura 6. Diagramas de Arai de las cerámicas: a) Crema, espécimen 99C001; b) Rojo Bruñido, espécimen C008; c) Bayo, espécimen 99C037.

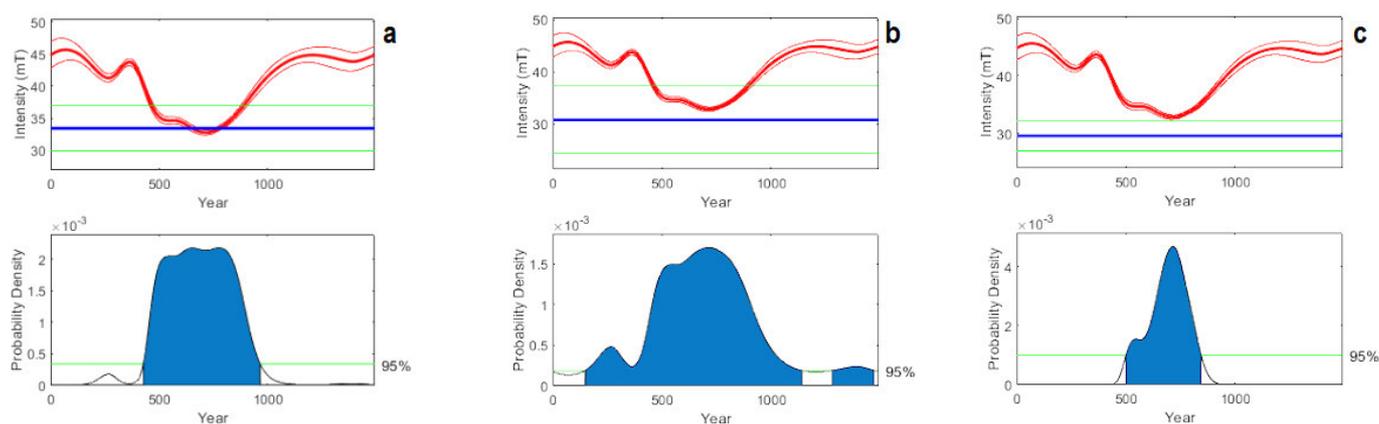


Figura 7. Determinación de las edades probables: a) cerámica Crema, b) cerámica Rojo Bruñido y c) cerámica Gris.

tiene el cambio de color más significativo, siendo más oscuro por fuera, con una tonalidad en rojo. La muestra Crema es de color marrón pálido por dentro y marrón grisáceo por fuera, siendo más oscuro por fuera. Las cerámicas con cambios de color más significativos son las muestras Naranja, Rojo Bruñido y Negro Pulido (tabla 1).

De las seis cerámicas aceptadas, se obtuvieron intensidades de alta calidad en tres de ellas, que son las muestras Crema, Gris y Rojo Pulido, cumpliendo con los parámetros de selección establecidos y con un número de especímenes $N \geq 4$. Las muestras Bayo y Rojo Bruñido solo tienen dos y uno, respectivamente, que cumplen con los parámetros establecidos (tabla 2, figura 6). Para mayor confiabilidad en la determinación de las intensidades obtenidas, se utilizó el método de mitigación de la anisotropía propuesto por Morales *et al.* (2011) y la corrección por la diferencia de ritmo de enfriamiento, lo cual permitió obtener intensidades medias muy similares a las que se consiguen al corregir por el método de anisotropía en seis posiciones (ARM), lo cual significa que el método de Morales *et al.* (2011) es un método rápido y práctico para la obtención de intensidades confiables en cerámicas de cajetes y ollas.

A partir de las intensidades, se obtuvieron las edades mediante el uso de las CVP para la región de El Ocote según el modelo SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.*

2014) y la curva de variación paleosecular para México (García-Ruiz *et al.* 2021). Las edades encontradas son muy similares entre ambas CVP. Sin embargo, se prefieren las edades obtenidas por la CVP para México por ser una CVP regional más reciente, con un criterio de selección más estricto y una mayor densidad de datos para su desarrollo. Según lo anterior, las edades probables de las cerámicas son las siguientes: Crema (702 ± 286 AD), Rojo Pulido (656 ± 518 AD), Gris (671 ± 172 AD) y Bayo (671 ± 167 AD). Las edades obtenidas corresponden a lo esperado por los arqueólogos para el Epiclásico (figura 7).

A partir de los resultados de color que se tomaron por ambos lados de las cerámicas, fue posible obtener una relación entre las mejores intensidades y la diferencia de color que tiene cada muestra. En las tablas 3 y 4 se puede observar que, cuando la diferencia de color en la muestra $\Delta E \leq 10$, existe una relación con el número de especímenes, siendo el más alto $N = 6$. En cuanto al éxito de las intensidades obtenidas, al aumentar la diferencia de color disminuye el número de especímenes y, por tanto, el éxito en obtener una intensidad confiable. Los análisis de correlación por parámetros indican que existe una relación lineal alta entre la diferencia de color y los siguientes parámetros: número de especímenes para el campo coercitivo B_c ($R = -0.95$) y el campo coercitivo remanente B_{CR} ($R \geq 0.72$), la mag-

Tabla 3. Diferencia de color, intensidad obtenida y parámetros magnéticos de las muestras analizadas.

Cerámica	delE	delL	dela	delb	delRI	delar	N	H[μ T]	Ms [Am ² /kg]	Mrs [Am ² /kg]	Bc [mT]	Brc [mT]	Mrs/Ms	Bcr/Bc
Gris	7,47	4,40	0,40	6,02	-0,77	0,02	6,00	29,55	0,09	0,01	8,02	60,87	0,15	7,59
Crema	9,93	-5,96	-2,91	7,39	-0,21	-0,11	6,00	33,47	0,25	0,05	6,60	32,14	0,20	4,87
RojoP	16,52	-8,41	9,44	10,64	34,39	0,55	4,00	30,79	0,10	0,02	9,05	31,44	0,19	3,47
Bayo	17,07	-6,30	2,98	15,58	2,52	0,09	2,00	32,63	0,03	0,01	10,97	33,09	0,19	3,02
RojoB	21,39	0,67	15,08	15,15	62,46	0,81	1,00	44,87	0,02	0,00	9,57	28,80	0,17	3,01

Tabla 4. Correlación entre las diferencias de color y los parámetros magnéticos de las cerámicas.

	N	H[μ T]	Ms [Am ² /kg]	Mrs [Am ² /kg]	Bc [mT]	Brc [mT]	Mrs/Ms	Bcr/Bc
delE	-0,95	0,71	-0,66	-0,59	0,72	-0,74	0,16	-0,90
delL	0,09	0,23	-0,29	-0,36	-0,14	0,71	-0,95	0,63
dela	-0,78	0,69	-0,69	-0,65	0,54	-0,44	-0,20	-0,60
delb	-0,98	0,60	-0,72	-0,65	0,87	-0,65	0,16	-0,87
delRI	-0,68	0,79	-0,50	-0,46	0,32	-0,51	-0,15	-0,57
delar	-0,71	0,68	-0,60	-0,57	0,44	-0,45	-0,17	-0,57

netización de saturación (M_s) ($R = -0.66$) y la relación de coercitividad ($R = -0.90$). De igual manera, las diferencias de los parámetros a^* y b^* tienen correlaciones altas con el número de especímenes, la intensidad, la magnetización de saturación y la saturación remanente; pero solo la diferencia del parámetro b^* , que se mantiene en valor positivo indicando una tonalidad en amarillo, tiene correlación alta con el campo coercitivo, tal como se puede observar en las tablas 3 y 4.

La diferencia para los índices de rojez y rojez relativa tienen correlación alta con el número de especímenes y la intensidad obtenida. A partir de estos parámetros se puede inferir que, en este caso, el uso del color mostró ser un método sensible al éxito de la obtención de intensidades confiables y mantiene una relación lineal con los parámetros magnéticos de las muestras; por lo que es posible establecer un valor de referencia para la diferencia de color y la obtención de intensidades de alta calidad en cerámicas de El Ocote.

CONCLUSIONES

Los minerales magnéticos responsables de la magnetización presente en las cerámicas estudiadas son titanomagnetitas con bajo y alto contenido de titanio, con un comportamiento ferromagnético muy similar du-

rante el enfriamiento y el calentamiento. De las nueve muestras analizadas mediante campos alternos, solo seis de ellas (Bayo, Crema, Gris, Negro Pulido, Rojo Bruñido y Rojo Pulido) mostraron tener una sola componente de magnetización estable.

Luego de seleccionar las muestras mediante los criterios de estabilidad térmica y magnética, se obtuvieron cuatro intensidades arqueomagnéticas confiables registradas en las cerámicas del sitio arqueológico de El Ocote. A partir de las arqueointensidades, fue posible determinar la edad más probable para la fabricación de las cerámicas mediante el método de datación arqueomagnética, confirmándose que tuvo lugar durante el Epiclásico.

El color de las cerámicas tiene una cierta relación lineal con el éxito en la obtención de las intensidades, mostrando que puede ser un método complementario de selección en la recopilación de muestras para la obtención de sus intensidades.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada financieramente por los proyectos CONACYT n.º 252149 y UNAM-PA-PIIT n.º IN101920. Por su parte, Miguel Cervantes agradece el apoyo parcial del proyecto CONACYT CF-2019-1761.

REFERENCIAS

- AITKEN, M. J. 1990. *Science-Based Dating in Archaeology*. Londres: Longman.
- BIGGIN, A. J.; T. POIDRAS. 2006. First-order symmetry of weak-field partial thermoremanence in multi-domain ferromagnetic grains. 1. Experimental evidence and physical implications. *Earth and Planetary Science Letters* 245, 1-2: 438-453. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.02.035>.
- CASTILLO, N. 1968. *Algunas técnicas decorativas de la cerámica arqueológica de México*. Serie Investigaciones 16. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- CEJUDO-RUIZ, R.; R. GARCÍA-RUIZ; A. PELZ-MARÍN; A. GOGUITCHAICHVILI; J. MORALES; M. CERVANTES-SOLANO; F. BAUTISTA-ZUÑIGA. 2019. Intervención arqueomagnética en El Ocote (Aguascalientes, México): implicaciones cronológicas absolutas. *Arqueología Iberoamericana* 44: 3-9: <http://purl.org/aia/4401>.

- CHAUVIN, A.; Y. GARCIA; PH. LANOS; F. LAUBENHEIMER. 2000. Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 120, 1-2: 111-136.
- 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.; S. GROMMÉ; E. A. MANKINEN. 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.
- DEKKERS, M. J.; H. N. BÖHNEL. 2006. Reliable absolute palaeointensities independent of magnetic domain state. *Earth and Planetary Science Letters* 248, 1-2: 508-517.
- DUNLOP, D. J. 2011. Physical basis of the Thellier-Thellier and related paleointensity methods. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 187, 3-4: 118-138. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2011.03.006>.
- GARCÍA, R.; R. CEJUDO; A. PELZ-MARÍN; M. S. HERNÁNDEZ-BERNAL; F. BAUTISTA; A. GOGUITCHAICHVILI; J. MORALES. 2020. Caracterización magnética, geoquímica y colorimétrica de la cerámica de El Ocote (Aguascalientes, México). *Arqueología Iberoamericana* 46: 3-10. <http://purl.org/aia/4601>.
- GARCÍA, R.; N. PÉREZ-RODRÍGUEZ; A. GOGUITCHAICHVILI; M. RODRÍGUEZ-CEJA; J. MORALES; A. M. SOLER; J. URRUTIA-FUCUGAUCHI. 2021. On the absolute geomagnetic intensity fluctuations in Mexico over the last three millennia. *Journal of South American Earth Sciences* 106: 102927. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102927>.
- GENEVEY, A.; Y. GALLET. 2002. Intensity of the geomagnetic field in western Europe over the past 2000 years: New data from ancient French pottery. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 107, B11: EPM 1-1/EPM 1-18. <https://doi.org/10.1029/2001JB000701>.
- HERVÉ, G.; A. CHAUVIN; PH. LANOS; P. ROCHETTE; M. PERRIN; M. PERRON D'ARC. 2019. Cooling rate effect on thermoremanent magnetization in archaeological baked clays: an experimental study on modern bricks. *Geophysical Journal International* 217, 2: 1413-1424. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz076>.
- JACKSON, A.; A. R. T. JONKERS; M. R. WALKER. 2000. Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 358, 1768: 957-990.
- JIMÉNEZ-MEZA, J. L. 2014. *Informe preliminar de cerámica: El Ocote, Aguascalientes. Proyecto Investigación Arqueológica El Ocote, Aguascalientes*. Centro INAH Aguascalientes.
- KIRILLOVA, N. P.; Y. N. VODYANITSKII; T. M. SILEVA. 2015. Conversion of soil color parameters from the Munsell system to the CIE-L*a*b* system. *Eurasian Soil Science* 48: 468-475.
- MCCABE, C.; M. JACKSON; B. B. ELLWOOD. 1985. Magnetic anisotropy in the Trenton Limestone: Results of a new technique, anisotropy of anhysteretic susceptibility. *Geophysical Research Letters* 12, 6: 333-336.
- MORALES, J.; A. GOGUITCHAICHVILI; B. AGUILAR-REYES; M. PINEDA; P. CAMPS; C. CARVALLO; M. CALVO-RATHERT. 2011. Are ceramics and bricks reliable absolute geomagnetic intensity carriers? *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 187, 3-4: 310-321.
- MORALES, J.; A. GOGUITCHAICHVILI; B. AGUILAR-REYES; M. PINEDA; C. CARVALLO; L. BERAMENDI-OROSCO; G. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ; A. OLIVEROS. 2012. Rock-Magnetic and Archaeointensity Investigation of Pottery and a Burned Floor at the Tzintzuntzan Archaeological Site, Western Mexico. *Geoarchaeology* 27, 6: 521-537.
- PATERSON, G. A. 2013. The effects of anisotropic and non-linear thermoremanent magnetizations on Thellier-type paleointensity data. *Geophysical Journal International* 193, 2: 694-710. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt033>.
- 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.
- 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>.
- PELZ-MARÍN, A. M. 2014. *Proyecto Arqueológico El Ocote, Aguascalientes. Informe Técnico Parcial Temporada 2013*. Informe al Consejo de Arqueología. Archivo del Centro INAH-Aguascalientes.
- PELZ-MARÍN, A. M.; J. L. JIMÉNEZ-MEZA. 2013. *Investigación Arqueológica El Ocote, Aguascalientes. Informe Técnico Parcial Temporada 2012 y Propuesta de Investigación*. Informe al Consejo de Arqueología. Archivo del Centro INAH-Aguascalientes.

- PORCAYO, A. 2001. *Gasoducto de bajo. Informe final para el Consejo de Arqueología DSA-INAH Abril*. Archivo del Centro INAH-Aguascalientes.
- PRÉVOT, M.; E. A. MANKINEN; S. GROMMÉ; L. LECAILLE. 1983. High paleointensities of the geomagnetic field from thermomagnetic studies on Rift Valley pillow basalts from the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 88, B3: 2316-2326. <https://doi.org/10.1029/JB088iB03p02316>.
- TAUXE, L. 2010. *Essentials of Paleomagnetism*. University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520946378>.
- THELLIER, E. 1937. Sur la disparition de l'aimantation permanente des terres cuites par réchauffement en champ magnétique nul. *Comptes rendus de l'Académie des sciences* 205: 334-336.
- THELLIER, E.; O. THELLIER. 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Annales de géophysique* 15: 285-376.
- VEITCH, R. J.; I. G. HEDLEY; J. J. WAGNER. 1984. An investigation of the intensity of the geomagnetic field during Roman times using magnetically anisotropic bricks and tiles. *Archives des Sciences et Compte-rendu des séances de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle* 37, 3: 359-373.
- VODYANITSKII, Y. N.; A. T. SAVICHEV. 2017. The influence of organic matter on soil color using the regression equations of optical parameters in the system CIE-L*a*b*. *Annals of Agrarian Science* 15, 3: 380-385.
- YU, Y.; L. TAUXE. 2005. On the use of magnetic transient hysteresis in paleomagnetism for granulometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 6, 1: Q01H14. <https://doi.org/10.1029/2004GC000839>.
- YU, Y.; L. TAUXE; A. GENEVEY. 2004. Toward an optimal geomagnetic field intensity determination technique. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 5, 2: Q02H07. <https://doi.org/10.1029/2003GC000630>.