



FECHAMIENTO ARQUEOMAGNÉTICO DE CERÁMICAS Y PISOS QUEMADOS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE TZINTZUNTZAN

Juan Morales^{1,*}, Avto Goguitchaichvili¹, Bertha Aguilar Reyes¹, Modesto Pineda¹, Claire Carvallo², Laura Beramendi-Orosco³, Galia González-Hernández³ y Arturo Oliveros⁴

1. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Michoacán, Campus Morelia, Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, E-mail: jmorales@geofisica.unam.mx
2. Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.
3. Laboratorio Universitario de Radiocarbono, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
4. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Michoacán, MEXICO.

Abstract

Results from an archeomagnetic investigation on pottery fragments and burnt floors of the archeological site of Tzintzuntzan in western Mexico are presented. This site was the location of the Purépechas capital between the 12th and 14th century A.D. up to the Spanish conquest. The analyzed samples in this study consist in four fragments of pottery shreds and one from a burnt floor. A sample of charcoal from the same archeological context was also collected for dating purposes. The results from the magnetic properties experiments (x -T curves and FORC diagrams) show the capacity of these materials (with a single exception) to accurately record the intensity of the Earth Magnetic Field at the time of their elaboration and/or their last use in ceremonial activities. Dating by ¹⁴C of the collected fragment of charcoal establishes an upper limit (1360 A.D.) for the chronology of the collected pieces, meanwhile the lower limit (Early Classic – Late Classic) has been inferred from contextual aspects of the Tarasca culture. The archeointensity values from each fragment have been distributed on the paleosecular variation curve CALS3k, computed for the location of the study site, trying to achieve the best correlation between age and paleointensity. One of the fragments could be dated without ambiguity as Late post-Classic (~ 1250 A.D.), meanwhile the other two and the burnt floor have been determined as Late Classic.

Resumen

Presentamos los resultados de una investigación arqueomagnética en fragmentos de cerámica y pisos quemados del sitio arqueológico de Tzintzuntzan, occidente de México. Este sitio funcionó como capital de los Purépechas del siglo 12 al 14, hasta la conquista de los españoles. Las muestras analizadas en este estudio consisten en cuatro fragmentos de piezas cerámicas y uno de un piso quemado. Se colectó también una muestra de carbón del mismo contexto arqueológico para propósitos de fechamiento. Los resultados de los experimentos de propiedades magnéticas (curvas x -T y diagramas de FORC) muestran la capacidad de estos materiales (a excepción de uno de ellos) para registrar fielmente la intensidad del campo magnético terrestre presente al momento de su elaboración y/o última utilización en actividades ceremoniales. El fechamiento por ¹⁴C obtenido del fragmento de carbón colectado estableció un límite superior (1360 d. C.) para la cronología de las piezas analizadas, mientras que el límite inferior (Clásico Temprano - Clásico Tardío) fue inferido a partir de aspectos contextuales de la cultura Tarasca. Los valores de arqueointensidad de cada fragmento determinados en este estudio fueron distribuidos sobre la curva de variación paleosecular CALS3k, calculada para la posición geográfica del sitio, buscando la mejor correlación entre intensidad antigua y edad. Uno de los fragmentos pudo ser fechado sin ambigüedad como Posclásico Tardío (~ 1250 d. C.), mientras que los otros dos y el piso quemado como Clásico Tardío.



Introducción

La capacidad de los objetos arqueológicos para registrar fielmente las variaciones direccionales y de intensidad del campo geomagnético antiguo fue revelada a finales de los años 50's (Thellier y Thellier, 1959). La necesidad de métodos de datación no convencionales, cuando no se dispone de materiales con carbón asociado, ha conducido a un rápido desarrollo de los métodos arqueomagnéticos, aprovechando las variaciones en dirección e intensidad del campo geomagnético (Genevey y Gallet, 2002).

En este trabajo reportamos los resultados de experimentos de propiedades magnéticas y de arqueointensidad llevados a cabo en cuatro fragmentos cerámicos y un piso quemado del centro ceremonial de la zona arqueológica de Tzintzuntzan, estado de Michoacán, México Occidental. Los valores de arqueointensidad de cada fragmento determinados en este estudio fueron distribuidos sobre la curva de variación paleosecular CALS3k, calculada para la posición geográfica del sitio. El registro geomagnético obtenido es apoyado por dataciones existentes y por nuevos fechamientos de radiocarbono obtenidas en el presente estudio.

Contexto Arqueológico

Tzintzuntzan es una pequeña localidad ubicada en el norte del Estado de Michoacán ($19^{\circ} 37' 26''$ N, $101^{\circ} 34' 25''$ W), a 53 km de la ciudad de Morelia y 17,5 km de Pátzcuaro, ubicado en el flanco noreste del lago de Pátzcuaro. Es mejor conocida como la antigua capital del Estado Tarasco hasta que fue conquistada por los españoles en 1520. El centro ceremonial contiene una gran plaza y varios edificios, que se sabe fueron habitados por sacerdotes y la nobleza; sin embargo, la principal atracción son las cinco "Yácatas" (Figura 1a) - pirámides semi-circulares frente a la zona del lago (Oliveros, 1989).

Los fragmentos de cerámica y pisos quemados analizados en este estudio provienen de una excavación recientemente abierta que es parte de los trabajos de restauración que se llevan a cabo en la zona arqueológica (Figura 1b) bajo la supervisión del INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia). Los objetos analizados fueron encontrados en la base oriental de la Yácata 3, dentro de un área rectangular de 3,6 m de largo por 3,0 m de ancho. Los 4 fragmentos cerámicos (T1 a T3), T4, TS y V, así como una muestra de un piso quemado (P2), junto con algunos fragmentos de obsidiana fueron recogidos en la zona de excavación. También se recogieron muestras de carbón del mismo contexto con fines de fechamiento.



Figura 1 Vista de una de las Yácatas (a) y de la excavación (b), en la cual se observan las piezas analizadas.



Propiedades magnéticas de la cerámica

Susceptibilidad magnética vs temperatura y Diagramas de FORC

Una muestra de cada fragmento se calentó hasta los 700 °C con un ritmo de calentamiento de 10 °C/min y luego se enfrió hasta temperatura ambiente con el mismo ritmo. Común a las tres piezas de cerámica etiquetadas como 'T' es la presencia de dos componentes magnéticas; magnetita casi pura y fases magnéticas con reemplazo de la magnetita. En contraste, los fragmentos V y P2 muestran la presencia de una sola fase (magnetita). La reversibilidad relativamente alta de las curvas de x -T observada indica que las muestras son potencialmente adecuadas para los experimentos de tipo Thellier (Thellier y Thellier, 1959), en cuanto a alteración termoquímica se refiere.

Los diagramas de FORC para las muestras V, T4 y P2, se caracterizan por una dispersión muy pequeña en el eje H_u . Esto sugiere un bajo grado de interacciones magnetostáticas. Los contornos se extienden a coercitividades altas (superiores a 120 mT), que muestra que la distribución del tamaño de grano magnético es bastante amplia. También puede indicar que las fases de alta coercitividad están presentes, como por ejemplo la hematita o la goethita, producto de la alteración. La presencia de dos poblaciones de tamaño de grano distinto es más evidente para la muestra P2: el diagrama de FORC muestra claramente dos picos principales centrados en dos coercitividades diferentes. Por el contrario, el diagrama de FORC para la muestra T2 se asemeja a los diagramas de contorno de MD o de SP; el máximo de la distribución de FORC se centra en valores muy bajos de H_c .

En general, los diagramas de FORC indican que (a excepción del fragmento T2) las muestras analizadas son buenos candidatos para la determinación de arqueointensidades.

Fecha por ^{14}C

Una muestra de carbón (UNAM-0902) del mismo contexto fue fechada en el Laboratorio Universitario de Radiocarbono (UNAM) por espectrometría de centelleo líquido (LSC), siguiendo procedimientos estándares reportados detalladamente en Beramendi-Orosco et al (2006). La fecha de radiocarbono convencional de la muestra analizada es de 580 ± 50 d. C., con un rango de calibración de 2 sigma de cal 1294 – 1426 d. C..

Determinaciones de arqueointensidad Thellier-Coe

Los cinco fragmentos estudiados se fragmentaron en al menos 7 piezas cada uno y fueron prensados en pastillas de sal para facilitar su tratamiento como muestras paleomagnéticas estándares. Los experimentos de Thellier-Coe (Thellier y Thellier, 1959; Coe, 1967) se llevaron a cabo utilizando un horno ASC Scientific TD48-SC. Diez pasos de temperatura fueron distribuidos a través del intervalo de temperaturas total (de temperatura ambiente a 540°C) con una reproducibilidad entre dos calentamientos a la misma temperatura nominal de 2 °C. La intensidad de campo de laboratorio se estableció en $(30,00 \pm 0,005) \mu T$. Se añadieron al procedimiento de laboratorio las pruebas conocidas como 'pTRM check's' cada tercer paso de temperatura, así como 'pTRM Tail checks' (Riisager y Riisager, 2001) a 2 temperaturas intermedias (350 °C y 450 °C).

La dependencia de la intensidad de la magnetización con el ritmo de enfriamiento fue investigado aquí siguiendo un procedimiento modificado al descrito por Chauvin et al., 2000 (ver Morales et al., 2009), con un tiempo de enfriamiento lento de 3 horas de 575°C a 20 °C.

Las correcciones por anisotropía de la TRM se pueden implementar de diferentes maneras (por ejemplo, McCabe et al., 1985; Selkin et al., 2000; Chauvin et al., 2000, entre otros). Para evitar este largo procedimiento, los especímenes individuales (pertenecientes al mismo fragmento)



fueron incrustados en las pastillas de sal en seis posiciones diferentes. De esta manera un posible sesgo debido a los efectos por la anisotropía de la TRM se cancelaría, como atestiguan los resultados experimentales de varias pruebas anteriores (Morales et al, 2007).

Resultados principales

Las curvas continuas de susceptibilidad magnética vs temperatura, junto con la información obtenida de los diagramas de FORC, sugieren la idoneidad de estos materiales como registradores fieles de la intensidad del campo geomagnético antiguo. Los resultados obtenidos de cada fragmento, corregidos por ritmo de enfriamiento, se resumen como sigue:

Fragmento P2

El valor promedio correspondiente a los fragmentos del piso quemado, obtenido de 4 de 7 muestras, dio una intensidad confiable de $38.8 \pm 3.1 \mu\text{T}$. Dos de las tres muestras que no dieron resultado muestran un comportamiento ligeramente cóncavo, mientras que la tercera de ellas no se desmagnetizó más de un 5% a $540 \text{ }^\circ\text{C}$. Las diferencias de comportamiento podrían atribuirse a la heterogeneidad del piso.

Fragmento T4

Un valor medio de intensidad (4 de 7 muestras analizadas) de $40.1 \pm 3.6 \mu\text{T}$ fue obtenido de este fragmento; estas determinaciones, sin embargo, no cumplen estrictamente los criterios de aceptación empleados y debe considerarse como técnicamente poco fiable. Una componente secundaria menor, probablemente debida al recalentamiento de la pieza a temperatura más baja, puede observarse en los diagramas vectoriales. Las tres muestras de las que no se pudo obtener ningún resultado muestran grandes componentes secundarias no eliminadas hasta temperaturas superiores a los $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Fragmento TS

Calentamientos múltiples (con orientación arbitraria) de esta pieza debido probablemente a su continuo uso son evidenciados en los diagramas de desmagnetización vectorial. Todas las siete muestras que forman este fragmento muestran grandes componentes secundarias que no se eliminan hasta temperaturas superiores a los $450 \text{ }^\circ\text{C}$. Los diagramas de Arai correspondientes a estas muestras se caracterizan por segmentos lineales con menos de 5 puntos ($n \leq 5$). Aunque de baja calidad (como los del fragmento T4), un valor de intensidad media (7 de 7) de $34.1 \pm 6.7 \mu\text{T}$ fue obtenido de este fragmento.

Fragmento V

Doce determinaciones realizadas en el fragmento de vasija, presumiblemente calentado sólo una vez durante su elaboración, dieron una intensidad media de $47.2 \pm 3.4 \mu\text{T}$. Este valor medio es significativamente más alto que los correspondientes a los del piso quemado y al de los fragmentos T4 y TS; Sin embargo, debe señalarse que este fragmento V no se calentó necesariamente al mismo tiempo que el piso quemado y los otros fragmentos analizados.

Fragmento T2

Estas muestras no dieron ningún resultado fiable en absoluto. La componente del plano horizontal del diagrama de Zijdeveld revela la presencia de al menos 4 componentes de la magnetización natural, que sugiere la ocurrencia de múltiples calentamientos con orientación horizontal arbitraria; adicionalmente, la componente horizontal de alta temperatura ($400 \text{ }^\circ\text{C} - 500 \text{ }^\circ\text{C}$) se desvía del origen. Los diagramas de Arai correspondientes a estos sub-fragmentos se caracterizan por un decaimiento de MNR relativamente rápido sin una correspondiente adquisición de MTR, lo cual es mejor apreciado en un diagrama compuesto de MNR perdida (pMTR adquirida) vs temperatura.



Los resultados de las pruebas de control a dos temperaturas diferentes, conocidas como ‘pTRM-Tail checks’, fueron en todos los casos inferiores al 10%, excepto para el fragmento T2 para el cual la cola restante llega hasta el 50% a 350 °C. Hacemos notar que los granos MD pueden mostrar pTRM-Tails tan grande como el 50% (Dunlop y Özdemir, 2000). El procedimiento para corrección de los resultados por diferencias entre ritmo de enfriamiento seguido aquí dio siempre factores de corrección < 1 para la mayoría de las muestras, que corresponde a una disminución general de los valores de intensidad crudos en un 7% en promedio.

Discusión

Múltiples recalentamientos de algunas piezas de cerámica (e.g. T2, TS), evidenciadas como componentes secundarias en los diagramas de Zijdeveld, podrían reflejar el uso recurrente a que fueron sometidas estas piezas. En contraste, la única componente vectorial correspondiente a la vasija V (probablemente usada sólo como un contenedor de agua) confirma la ausencia de posteriores recalentamientos.

Ya que los métodos arqueomagnéticos representan una alternativa a los métodos de datación convencionales, organizamos los cuatro valores de intensidad obtenidos en este estudio para encajar mejor en la curva de variación paleosecular (PSV) CALS3k calculada para la posición geográfica del sitio de muestreo (Figura 2). El fragmento V podría ser fechado casi inequívocamente como Posclásico Tardío (~ AD 1250). Aunque no se dispone de algún límite analítico inferior, un enorme crecimiento en la población en el periodo clásico tardío de la cuenca de Zacapu y los vecinos de la zona lacustre está bien documentado (Pulido Méndez et al., 1997), que se refleja en el elevado número de sitios. Durante los dos periodos anteriores, se han localizado sólo sitios escasos del clásico temprano y formativo. Estos hechos podrían proporcionar límite inferior para la edad de la cerámica desenterrada. Los valores de intensidad asociados a los otros tres fragmentos se localizan en el periodo clásico tardío.

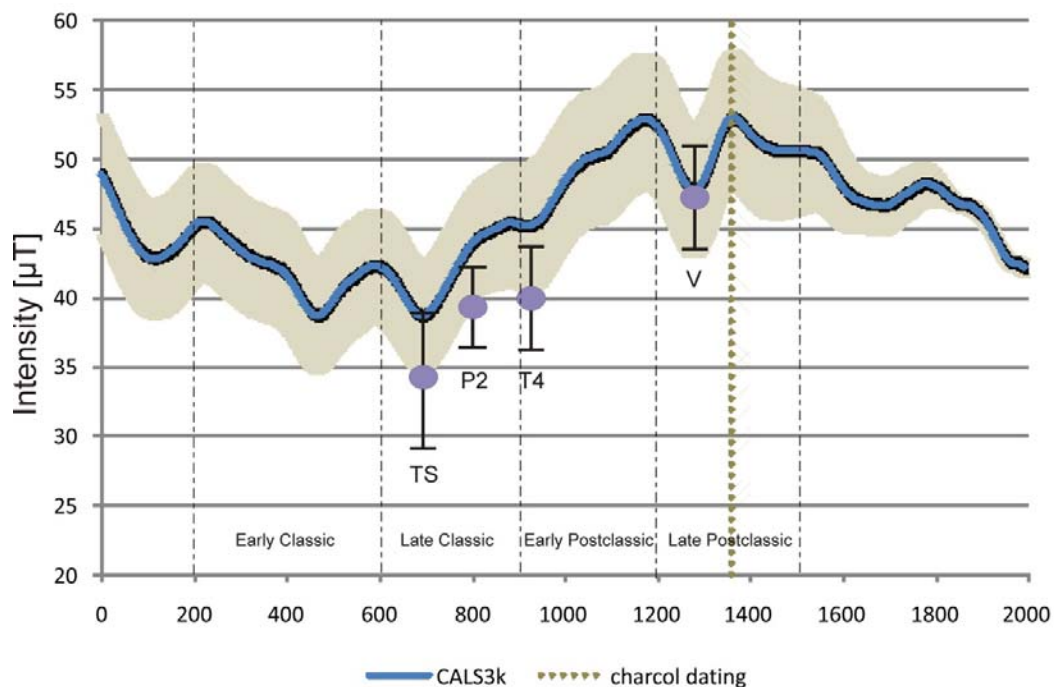


Figura 2. Fechamiento arqueomagnético de cuatro de las cinco piezas analizadas en este estudio mediante el empleo de la curva de variación paleosecular (PSV) CALS3k calculada para la posición geográfica del sitio de muestreo.



Conclusiones

Pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

1. Materiales de origen diferente (un piso quemado fechado por ^{14}C y un objeto cerámico) proporcionan intensidades antiguas estadísticamente indistinguibles; Este hecho proporciona un valor medio de arqueointensidad sólido para los fragmentos desenterrados y analizados para el período de ocupación del sitio arqueológico de Tzintzuntzan.
2. Los resultados presentados aquí, aunque pocos, ilustran la viabilidad de los fechamientos arqueomagnéticos como instrumento alternativo para el fechamiento de objetos arqueológicos. Una relación interdisciplinaria más estrecha y activa entre arqueólogos y geofísicos produciría conclusiones más profundas de las culturas antiguas.

Referencias

- Beramendi-Orosco, L.E., González-Hernández, G., Urrutia-Fucugauchi, J., & Morton-Bermea, O. (2006). The Radiocarbon Laboratory at the National Autonomous University of Mexico: First set of samples and new ^{14}C internal reference material with an activity of 80.4 pMC. *Radiocarbon*, 48 (3), 485-491.
- Coe, R. S. (1967). Paleo-Intensities of the Earth's Magnetic Field Determined from Tertiary and Quaternary Rocks. *Journal of Geophysical Research*, 72, No. 12, 3247-3262.
- Chauvin, A., Garcia, A., Lanos, Ph., & Laubenheimer, F. (2000). Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 120, 111-136.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö. (2000). Effect of grain size and domain state on thermal demagnetization tails. *Geophysical Research Letters*, 27, 1311-1314.
- Genevey, A., & Gallet, Y. (2002). Intensity of the geomagnetic field in western Europe over the past 2000 years: New data from ancient French pottery. *Journal of Geophysical Research*, 107, B11, 2285, doi:10.1029/2001JB000701.
- McCabe, C., Jackson, M., & Ellwood, B. (1985). Magnetic anisotropy in the Trenton limestone: results of a new technique, anisotropy of anhysteretic susceptibility. *Geophysical Research Letters*, 12, 333-336.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Acosta, G., González-Morán, T., Alva-Valdivia, L., Robles-Camacho, J., & Hernández-Bernal, M. S. (2009).
- Oliveros, 1989. Las tumbas más antiguas de Michoacán. *Historia general de Michoacán. Época prehispánica*. Cap. I: 123-234. Instituto Michoacano de Cultura. Gobierno del estado de Michoacán. Morelia, Michoacán. México.
- Pulido-Méndez S., Araiza-Gutiérrez, A., Grave-Tirado, L. A. (1997). Arqueología en el Norte de Michoacán. Dirección de Salvamento Arqueológico, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Riisager, P. & Riisager, J. (2001). Detecting multidomain magnetic grains in Thellier palaeointensity experiments. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 125, 111-117.
- Selkin, P.A., Gee, J. S., Tauxe, L., Meurer, W.P., & Newell, A.J. (2000). The effect of remanence anisotropy on paleointensity estimates: a case study from the Archean Stillwater Complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 183, 403-416.
- Thellier, E. & Thellier, O. (1959). Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Annales Géophysique*, 15, 285-376.