



## DETERMINANDO EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE ANTIGUO A TRAVÉS DE ARTEFACTOS ARQUEOLÓGICOS DEL SUDESTE DE AMÉRICA DEL SUR

D. Loponte<sup>1</sup>, A. Gogichaishvili<sup>2</sup>, J. Morales<sup>2</sup> y A. Acosta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, CONICET, Argentina

<sup>2</sup>Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, México

### Resumen

Se presentan los primeros valores de intensidad geomagnética obtenidos a partir de cerámica arqueológica proveniente de diferentes sectores de la cuenca del río Paraná, cronológicamente ubicados entre  $1640 \pm 70$  y  $730 \pm 70$  años  $C^{14}$  AP. Se analizaron 21 muestras, obtenidas a partir de cinco fragmentos, que permitieron obtener determinaciones absolutas de intensidad mediante la aplicación de la variante Coe del método Thellier. Los valores promedios poseen un rango que oscila entre  $21,9 \pm 2,3$  a  $42,6 \pm 5,4$   $\mu T$ , con sus correspondientes momentos dipolares (VADM) que van desde  $4,0 \pm 0,5$  a  $8,1 \pm 1,0 \times 10^{22}$   $Am^2$ . Esto corresponde a una media de VADM de  $(6,4 \pm 1,8) \times 10^{22}$   $Am^2$ . Los valores de arqueointensidad obtenidos señalan una sustancial variabilidad, donde se pueden individualizar tres etapas. Las dos primeras, que abarcan el intervalo 950 a 1130 años DC y entre 1350 hasta 1480 años DC, se caracterizan por aumentos monotónicos de la intensidad geomagnética, mientras que esta decrece para la tercera etapa, ubicada entre los años 1150 a 1280 DC. Estas variaciones pueden ser especulativamente correlacionadas con los cambios climáticos en escalas de tiempo que abarcan varias décadas, y que empleadas con otros datos *proxy*, pueden ser empleadas para la reconstrucción paleoclimática y el fechado de estructuras y rasgos arqueológicos.

### Abstract

Absolute intensity determinations using the Coe variant of the Thellier method have been carried out on some selected pottery fragments collected in the wetlands of the lower Paraná (Pampean region, Argentina) in order to construct the first archaeointensity master curve for South America. Associated radiometric ages range between  $1640 \pm 70$  and  $730 \pm 70$  BP. Twenty-one samples (five fragments) out of 46 studied (eight fragments) provided successful absolute intensity determinations. The fragment-mean archaeointensity values obtained in this study range from  $21.9 \pm 2.3$  to  $42.6 \pm 5.4$  mT, with corresponding virtual axial dipole moments (VADM) ranging from  $4.0 \pm 0.5$  to  $8.1 \pm 1.0 \times 10^{22}$   $Am^2$ . This corresponds to a mean VADM of  $(6.4 \pm 1.8) \times 10^{22}$   $Am^2$ . The synthetic record retrieved from southern Argentina and Brazil consists of 17 mean archaeointensities distributed between approximately AD 700 and AD 1700. The data set shows several distinct periods of fluctuations of quite large intensity. However, most data are concentrated into a relatively narrow time period from AD 950 to AD 1300. Three general features may be detected: the time intervals from about AD 950 to 1130 and 1350 to 1480 are characterized by quite monotonic increases of geomagnetic intensity, while some decrease is observed from AD 1150 to 1280. These variations may be speculatively correlated to climate changes over multi-decadal time scales. Important differences are observed between the data and the geomagnetic field predictions derived from recently reported global models, which reinforces the importance of regional reference curves for dating purposes.



## Introducción

Las partículas magnéticas (magnetitas) incluidas en la cerámica se organizan en el momento de ser cocidas, según el campo magnético terrestre (CMT). Esto permite avanzar en el conocimiento de la evolución del campo magnético terrestre que está íntimamente relacionado con la evolución del interior profundo de la Tierra. Asimismo, investigaciones recientes también sugieren una conexión entre el campo geomagnético y los cambios climáticos durante el Holoceno (Courtilot *et al.* 2007; Gallet *et al.* 2009). En América del Sur, estos estudios apenas se han iniciado, con algunos estudios puntuales en Ecuador y Perú (Shaw *et al.* 1996; Bowles *et al.* 2002) y la obtención de lecturas independientes del nordeste de Brasil, acotadas cronológicamente entre mitad del siglo XVI y principios del siglo XIX (Hartmann *et al.* 2010). Aquí presentamos las primeras mediciones que buscan reconstruir la curva maestra de arqueointensidad para América del Sur.

La cerámica arqueológica que emplearemos en este estudio proviene de contextos arqueológicos en estratigrafía, que han sido sistemáticamente excavados y adecuadamente datados mediante  $C^{14}$ . Los depósitos de referencia se ubican en el humedal del Paraná inferior, distribuidos entre el nordeste de la provincia de Buenos Aires y el Sur de la provincia de Entre Ríos (ver figura 1 y tabla 1), datados entre  $1640 \pm 70$  y  $730 \pm 70$  años  $C^{14}$  AP (Acosta 2005; Loponte 2008). Todos los sitios arqueológicos incluidos aquí fueron generados por grupos cazadores-recolectores del Holoceno tardío, con una economía basada en la pesca, la caza y la recolección de vegetales, y que tal vez practicaran algún tipo de horticultura de pequeña escala.

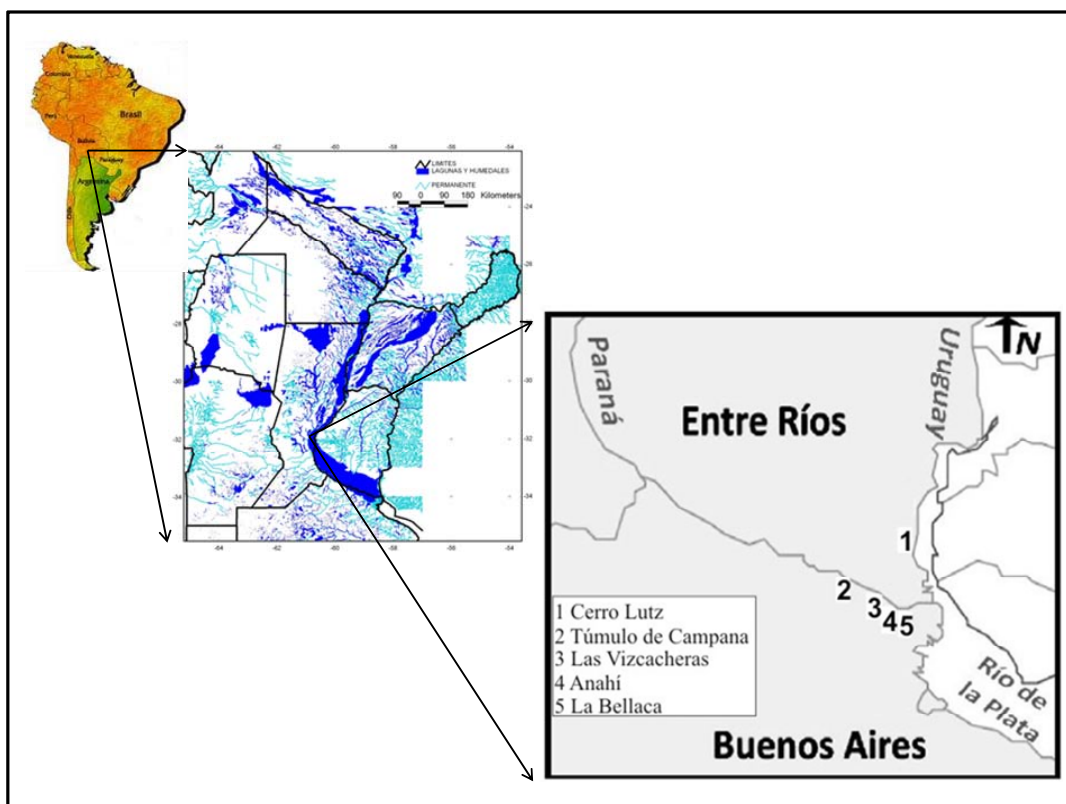


Figura 1. Ubicación del área de estudio.



STIO	Lat (°)	Long (°)	Código Lab.	<sup>14</sup> C AP ± 1s	Fechados calibrados AP	Fechados calibrados AD	Material datado
Cerro Lutz	33° 38' 47"	58° 36' 20"	LP-1711	730 ± 70	665 ± 66	1285 ± 66	<i>Homo sapiens</i>
Cerro Lutz			AA77311	796 ± 42	724 ± 30	1226 ± 30	<i>Homo sapiens</i>
Las Vizcacheras	34° 16' 81"	58° 48' 65"	Beta 148237	1090 ± 40	1007 ± 42	943 ± 42	<i>Lama guanicoe</i>
Las Vizcacheras			LP-1401	1070 ± 60	999 ± 55	951 ± 55	<i>S. romanzoffiana</i>
Anahí	34° 16' 95"	58° 48' 47"	Beta 147108	1020 ± 70	928 ± 87	1022 ± 87	<i>Myocastor coypus</i>
La Bellaca	34° 23' 77"	58° 40' 14"	LP-1288	1110 ± 70	1048 ± 79	902 ± 79	Mamífero indet.
Túmulo de Campana	34° 11' 54"	58° 55' 14"	Beta 172059	1640 ± 70	1540 ± 94	410 ± 94	Mamífero indet.

Tabla 1. Ubicación y cronología de las muestras de cerámica analizadas.

## Metodología

Se realizaron experimentos de magnetismo de rocas para identificar cuáles eran las partículas con magnetización remanente y para determinar su estabilidad térmica. También se utilizaron estos ensayos como criterio de pre-selección de las muestras adecuadas para las determinaciones de arqueointensidad. Esta consistió en la medición de (a) el índice de viscosidad; (b) curvas termomagnéticas – susceptibilidad de bajo campo versus la temperatura (k-T); (c) adquisición de la magnetización remanente isotérmica (IRM) y (d) la determinación de la arqueointensidad tipo Thellier (Thellier y Thellier, 1959). Estas últimas fueron efectuadas utilizando el método de doble calentamiento (*cf.* Coe 1967), para lo cual se empleó un horno TD48-SC. La remanencia se midió utilizando un magnetómetro Spinner JR6 (AGICO Ltd).

El experimento de arqueointensidad se realizó en 10 etapas de calentamiento entre la temperatura ambiente y los 560 °C., y con una intensidad de campo de laboratorio de  $30 \pm 0,15 \mu\text{T}$ .

## Resultados y Análisis

Los resultados indican que los portadores principales del magnetismo de las muestras corresponden a titanomagnetitas pobres en Ti. De las 46 muestras analizadas, 21 de ellas entregaron lecturas confiables de arqueointensidad. Para estas muestras, la fracción NRM usada para la determinación tiene un rango entre 0,44 y 0,86. El factor de calidad  $q$  oscila entre 3,8 y 19,3, siendo generalmente más grande que 5. La corrección de la tasa de enfriamiento generalmente reduce la desviación estándar de los valores promedios de la intensidad. Estos tienen un rango que varía entre  $21,9 \pm 2,3$  y  $42,6 \pm 5,4 \mu\text{T}$ , con sus correspondientes momentos dipolares (VADMs) que van desde  $4,0 \pm 0,5$  a  $8,1 \pm 1,0 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ . Esto corresponde a una media de VADM de  $(6,4 \pm 1,8) \times 10^{22} \text{ Am}^2$ .

Con la finalidad de construir una curva maestra para América del Sur, se ha iniciado un estudio sistemático de alfarería proveniente de 21 sitios arqueológicos ubicados en el sur de Brasil, con contextos datados entre 1900 y 1000 AD, y dos sitios con cronologías entre 1000 y 100 AD (Hartmann *et al.* 2011). Los valores obtenidos en este estudio son consistentes con los obtenidos por los citados autores. Estos señalan valores de  $35 \mu\text{T}$  alrededor del año 700 AD hasta un máximo de  $53 \mu\text{T}$  alrededor de 1450 AD, y decrece en forma continua hasta la actualidad hasta valores cercanos a  $30 \mu\text{T}$  (ver figura 2).

Varios autores efectuaron una serie de modelos de variación temporal del campo geomagnético de la tierra para los últimos 3000 años (Donadini *et al.* 2009; Korte *et al.* 2009). El nuevo modelo CALS3K que emplea datos provenientes de sedimentos, lavas y estructuras arqueológicas es nuestra mejor representación dentro de una escala global para el período 0 – 3 ka, mientras que la curva ARCH3K fue realizada en base a resultados provenientes de artefactos y lavas. El máximo que se observa en torno a los 1100 AD de nuestros datos está predictivamente contemplado en este último modelo, aunque ligeramente desplazado hacia la derecha. Las diferencias, sin embargo, son significativas para el período 980 – 1250 AD ( $> 20 \mu\text{T}$ ) y para épocas más recientes (*e.g.* 1700 AD).



Esto sugiere que los modelos CALS3K y ARCH3K tienen una aplicación limitada para América del Sur.

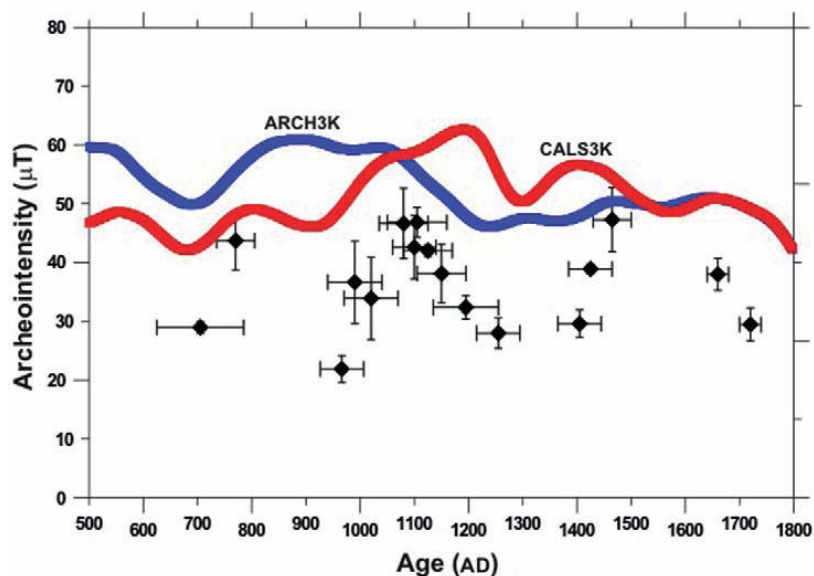


Figura 2. Tendencia general de los datos de arqueointensidad versus la cronología de las muestras. Se incluyen las curvas derivadas de los modelos predictivos ARCH3K y CALS3k.3.

## Conclusiones

El registro obtenido tanto en Argentina como en Brasil consistente en 17 valores promedios de arqueointensidad distribuidos entre los años 700 y 1700 AD muestran al menos 3 períodos distintivos de intensidad geomagnética. El primero de ellos entre 950 a 1130 y el segundo entre 1350 a 1480. Ambos muestran un incremento monótonico en la intensidad magnética, mientras que se observa un decrecimiento en el tercero de ellos, ubicado entre 1150 y 1280. Como fue sugerido por Gallet *et al.* (2006) y Courtillot *et al.* (2007), estas fluctuaciones pueden estar relacionadas con los cambios en el clima. Las mayores intensidades corresponderían a períodos de enfriamiento y viceversa, a través de un mecanismo donde el campo geomagnético es influenciado por la modulación del flujo de rayos cósmicos interactuando con la atmósfera. El avance de los estudios paleoclimáticos y el continuo aporte de nuevos datos geomagnéticos permitirán precisar o descartar esta hipótesis para América del Sur.

## Referencias

Acosta, A., 2005, *Zooarqueología de cazadores recolectores del extremo nororiental de la provincia de Buenos Aires (humedal del Paraná inferior, Región Pampeana)*. Tesis Doctoral inédita. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Bowles, J., Gee, J., Hildebrand, H. J., y Tauxe, L., 2002, Archeomagnetic intensity results from California and Ecuador: evaluation of regional data, *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 967–81.



Coe, R. S., 1967, Paleo-intensities of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks, *Journal of Geophysical Research*, 72(12), 3247–62.

Courtillot, V., Gallet, Y., LeMouél, J.-L., Fluteau, F. y Genevey, A., 2007. Are there connections between the Earth's magnetic field and climate? *Earth and Planetary Science Letters*, **253**, 328–39.

Donadini, F., Korte, M. y Constable, C. G., 2009. Geomagnetic field for 0–3 ka: 1. New data sets for global modeling.

Gallet, Y., Genevey, A., Le Goff, M., Fluteau, F. y Eshraghi, S. A., 2006, Possible impact of the Earth's magnetic field on the history of ancient civilizations, *Earth and Planetary Science Letters*, 246, 17–26.

Gallet, Y., Genevey, A., Le Goff, M., Warmé, N., Gran-Amorich, J. y Lefevre, A., 2009, On the use of archeology in geomagnetism, and vice-versa: recent developments in archeomagnetism, *Comptes Rendus Physique*, 10(7), 630–48.

Hartmann, G., Genevey, A., Gallet, Y., Trindade, R., Etchevarne, C., Le Goff, M. y Afonso, M. C., 2010, Archeointensity in northeast Brazil over the past five centuries, *Earth and Planetary Science Letters*, 296(3–4), 340–52.

Hartmann, G., Afonso, M. C. y Trindade, R. Preliminary archaeointensity measurements in Brazil. 2011. *Advances in archaeometry, proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry*, (ed. I. Tribanti-Memmi). En prensa.

Korte, M., Donadini, F. y Constable, C. G. 2009. Geomagnetic field for 0–3 ka: 2. A new series of time-varying global models, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q06008, doi:10.1029/2008GC002297.

Loponte, D., 2008. Arqueología del Humedal del Paraná Inferior (Bajíos Ribereños meridionales). En *Arqueología de la Cuenca del Plata* (eds. A. A. Acosta and D. M. Loponte), Serie Monográfica, Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Buenos Aires, 479 págs.

Shaw, J., Walton, D., Yang, S., Rolph, T. C., and Share, J. A., 1996, Microwave archaeointensities from Peruvian ceramics. *Geophysical Journal International* 124, 241–4.

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