



ARQUEOINTENSIDADES DE CERÁMICAS PRECOLOMBINAS (2000 AÑOS AP) DEL NOROESTE ARGENTINO.

C. Berkovich^{1*}, C. Greco², A. Gogichaishvili³, J. J. Morales³, C. Gogorza⁴

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Doctorado. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México.

² Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Morelia, México.

³ Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México.

⁴ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires, (CIFICEN-CONICET, UNCPBA), Tandil, Argentina.

* e-mail: berkovich.cesar@gmail.com

ABSTRACT

This study presents a geomagnetic field intensity (EMF) investigation based on pottery from 8 archaeological sites at North-Western region of Argentina. A total of 12 samples were subjected to previous experiments to determine their magnetic properties through *Susceptibility vs. Temperature (K-T)* curves and *Alternate Fields (AF) demagnetization*, then archaeointensity was analyzed applying *thermal demagnetization* to each sample agree with Thellier-Thellier (1959) method modified by Coe (1967) and were corrected by differential cooling rate effects. Data obtained of 71 specimens were associated to calibrated with Ramsey and Lee (2013) OxCal v4.2.4 software and the IntCal13 atmospheric curve (Reimer *et al.*, 2013) well-date archaeological contexts and verified with ARCH3K.1e & CALS10K.1b prediction models (GEOMAGIA v3). In addition, these results shed new light on Early Village Settlement societies from *circa* 2000 BP to 16th-17th centuries when first European people arrived, and because results are, in a manner, pioneer to this Argentinean area. The paper also aims to introduce archaeointensity research to archaeologists, and to encourage further collaboration between the disciplines in future investigations.

Keywords: NW Argentina, Archaeointensity, Pottery

RESUMEN

Este estudio presenta una investigación de la intensidad del campo magnético terrestre (CMT) basado en fragmentos cerámicos de 8 sitios arqueológicos de la región noroccidental de Argentina. Un total de 12 muestras estuvieron sujetas a experimentos previos para caracterizar sus propiedades magnéticas por medio de las curvas de *Susceptibilidad vs. Temperatura (K-T)* y por *desmagnetización por Campos Alternos (CA)* para, posteriormente, calcular las arqueointensidades a través de la *desmagnetización térmica* de cada muestra utilizando el método Thellier-Thellier (1959) modificado por Coe (1967) y corregidas con los efectos diferenciales del ritmo de enfriamiento. La información obtenida de 72 especímenes se asoció a contextos arqueológicos con dataciones calibradas mediante el programa OxCal v4.2.4 de Ramsey y Lee (2013) y la curva atmosférica IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013) para luego ser verificadas con los modelos predictivos ARCH3K.1e y CALS10K.1b (de GEOMAGIA v3). En suma, los resultados arrojan nuevas luces sobre las sociedades de las primeras formaciones aldeanas de hace aproximadamente 2000 años hasta la llegada de los primeros pobladores europeos en el siglo XVI y XVII y que, en cierta forma, los resultados son pioneros para esta zona argentina. El escrito también pretende ser un ejemplo introductorio para arqueólogos sobre las investigaciones de arqueointensidad y los anime a la colaboración entre disciplinas en trabajos futuros.

Palabras Clave: NO de Argentina, Arqueointensidad, Cerámica



Introducción

Las cerámicas de las localidades arqueológicas del presente estudio son las que estuvieron al margen del trabajo de Greco (2012) y corresponden al denominado Noroeste de Argentina (NOA) ubicados en los Valles Calchaquies de las Sierras Pampeanas (Cordillera de los Andes): Rincón Chico 18 (200000), Loma Rica Shiquimil (201000), Punta de Balasto (202000), Mesada del Agua Salada (203000), La Alumbreira (205000), Soria 2 (206000), Real Grande 6 (207000) y La Troya (208000) (Fig. 1). Los experimentos y análisis consisten en: a) preparación de muestras; b) experimentos previos para la caracterización de propiedades mediante la variabilidad de la susceptibilidad magnética en razón de la temperatura hasta 650°C (curvas K-T) y desmagnetización por campos alternos (de 10 a 100 mT, a cada 10 mT); c) desmagnetización térmica (desde 100° C a 560° C) utilizando el Método Thellier-Thellier (1959) con las adaptaciones de Coe (1967) y; d) aplicación de los modelos predictivos ARCH3K.1e y CALS10K.1b (de GEOMAGIA v3) a los resultados aquí obtenidos.

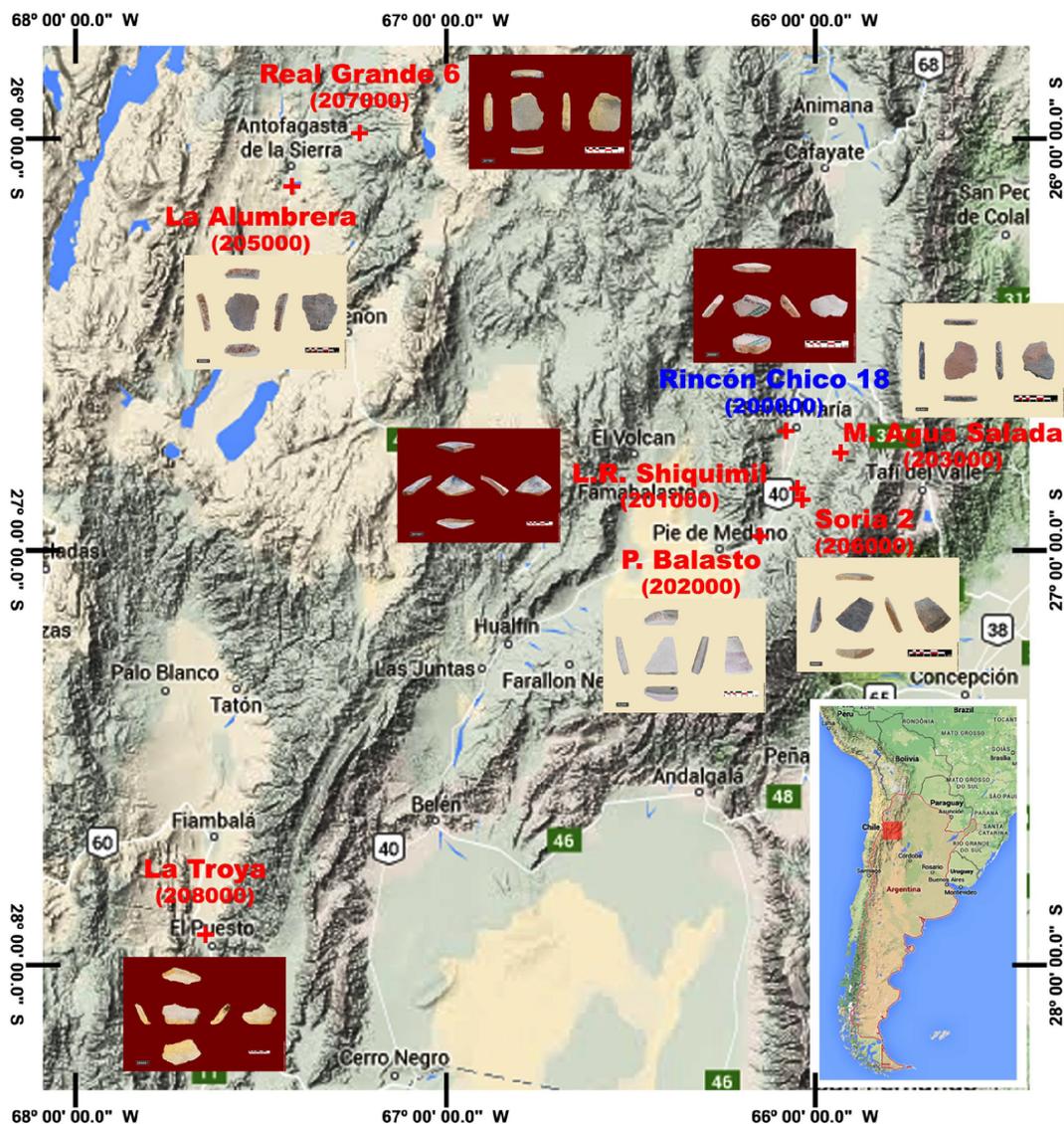
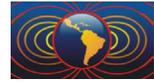


Figura 1. Sitios arqueológicos del Noroeste de Argentina (NOA): Rincón Chico 18 (200000), Loma Rica Shiquimil (201000), Punta de Balasto (202000), Mesada del Agua Salada (203000), La Alumbreira (205000), Soria 2 (206000), Real Grande 6 (207000), La Troya (208000).



Metodología y resultados

1. Preparación de especímenes

a) *Marcado y fragmentado de muestras cerámicas.* Arbitrariamente, se marcan líneas paralelas en un sólo sentido en toda la muestra; se fragmentan y toman 7 especímenes para la elaboración de los cilindros de sal; 6 corresponden a las posiciones espaciales (x, -x, y, -y, z, -z) para el experimento de desmagnetización térmica siguiendo el método de Thellier-Coe con el fin de contrarrestar los efectos de la anisotropía y, 1 más para desmagnetización por campos alternos.

b) *Pastillas cilíndricas de sal (NaCl, por ser diamagnética) comprimidas* en cuyo interior está integrado un fragmento de la muestra cerámica. Para que los especímenes tengan la medida cilíndrica estándar (2.5cm de diámetro x 2.5cm de altura) de los equipos de experimentación, la sal pulverizada y el fragmentito cerámico deben pesar un total de 21gr. Se comprimen con una prensa mecánica (diseñada con un gato hidráulico cuyo pistón y émbolo tienen justamente las medidas estándar de los equipos de medición) distribuyendo la sal de tal forma que el fragmento cerámico quede totalmente centrado al interior de la pastilla.

Mediante la preparación descrita arriba, los especímenes quedan listos para llevar a cabo los experimentos de caracterización magnética, desmagnetización térmica y el cálculo de las arqueointensidades.

2. Experimentos

a) *Curvas de Susceptibilidad Magnética vs. Temperatura.*

También se llevó a cabo la medición de la susceptibilidad en función de la temperatura (curvas K-T) en un sólo espécimen por muestra cerámica en un equipo modelo MS2WF de Bartington. El procedimiento consiste en pulverizar el espécimen y calentarse y medir en intervalos de 2° C a partir de los 30° C hasta llegar a 650° C para después iniciar el proceso de enfriamiento en la misma razón hasta bajar a 50° C. De esta forma se obtuvieron dos curvas: una de la etapa de calentamiento y la otra del enfriamiento (Fig. 2a) indicando las temperaturas de Curie de los componentes magnéticos de las muestras.

b) *Desmagnetización por campos alternos.*

Para llevar a cabo este análisis se utiliza un desmagnetizador por campos alternos de AGICO modelo LDA-3A. Al espécimen se le inducen campos alternos aumentando de 10 en 10 mT hasta alcanzar los 100 mT. En cada paso realizado se mide la magnetización remanente en el magnetómetro de giro JR5 de AGICO. Este procedimiento, al igual que el anterior, corresponde a los análisis que deben hacerse previos a la desmagnetización térmica, que es el proceso más largo en este tipo de estudios. Los resultados obtenidos indican, entre otras características, los dominios (sencillo, pseudosencillo o múltiple) a los que pertenece cada muestra analizada y esboza el comportamiento que tendrán al someterlos al método de Thellier (Fig. 2b y 2c).

c) *Desmagnetización térmica y determinación de arqueointensidades.*

De todos los métodos para determinar intensidades, el de Thellier-Thellier (1959) modificado por Coe (1967), es el más empleado. A través del tiempo, se ha comprobado que este método es la técnica más confiable para la determinación de intensidades, varios trabajos así lo asumen: demostraciones sobre la validez del método: Kono (1969); Coe y Grommé (1973); Tanaka (1980). Otros tantos que explican las posibles causas de experimentos fallidos y cómo prevenirlos: Coe (1967); Levi (1977); Khodair y Coe (1975); Kono y Ueno (1977); Yongjae y Dunlop (2003); sobre la dependencia con el tamaño de las partículas magnéticas: Levi (1977) y; sobre el rango de aplicabilidad del campo magnético de laboratorio: Kono y Tanaka (1984); Tanaka y Kono (1984).

El método requiere de calentar las muestras a diferentes temperaturas con y sin la aplicación de campo magnético (esto se hace de manera alternada entre cada paso de todo el proceso) y medir las magnetizaciones

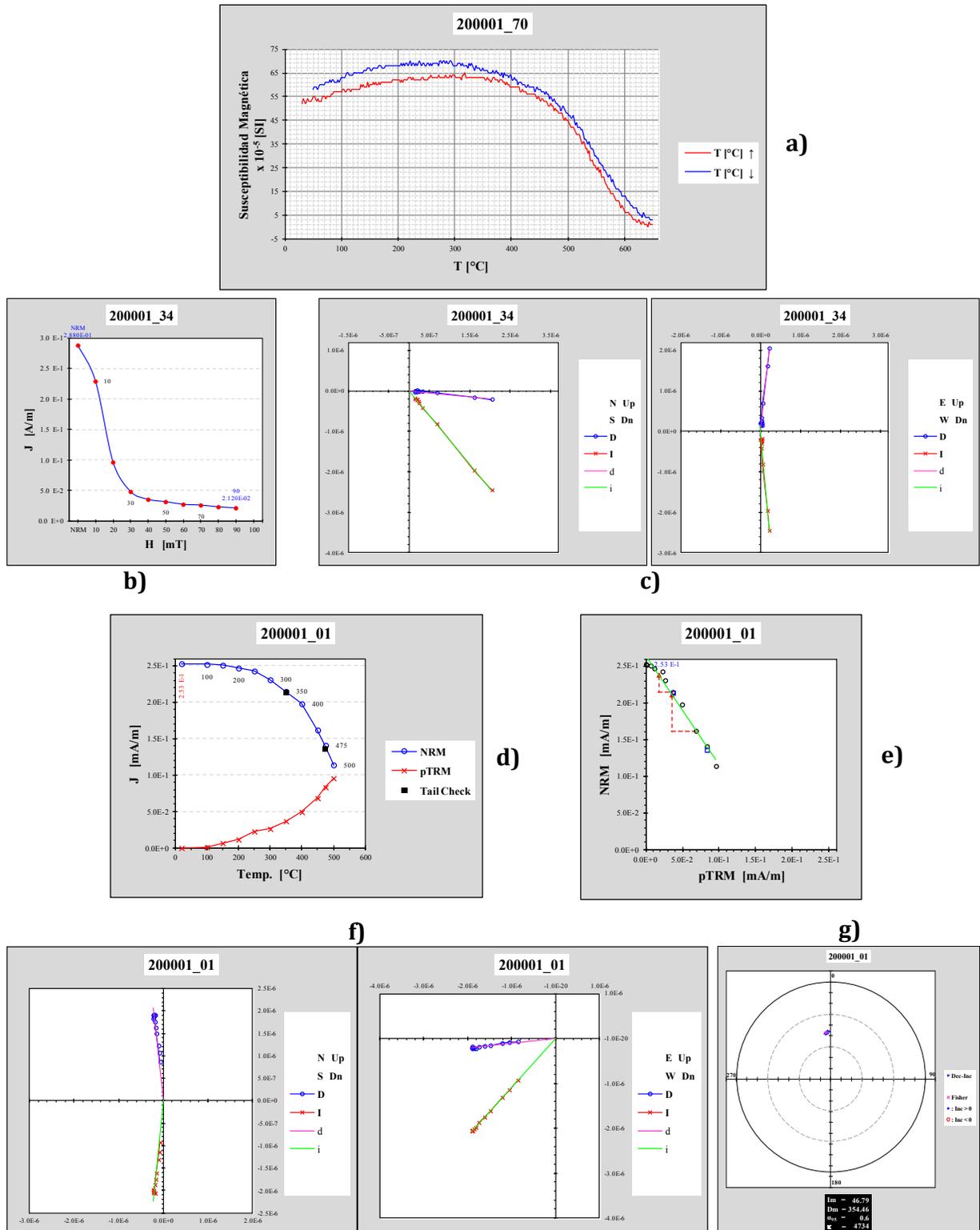
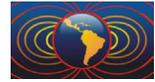


Figura 2. Noroeste de Argentina (NOA), localidad Rincón Chico 18. a) Curva Susceptibilidad vs. Temperatura; b) Desmagnetización por campos alternos, c) Componentes direccionales de la desmagnetización por campos alternos; d) Curva pérdida-adquisición de magnetización; e) Diagrama de Arai; f) Diagrama de componentes direccionales o de Zijdeveld; g) Estereograma.

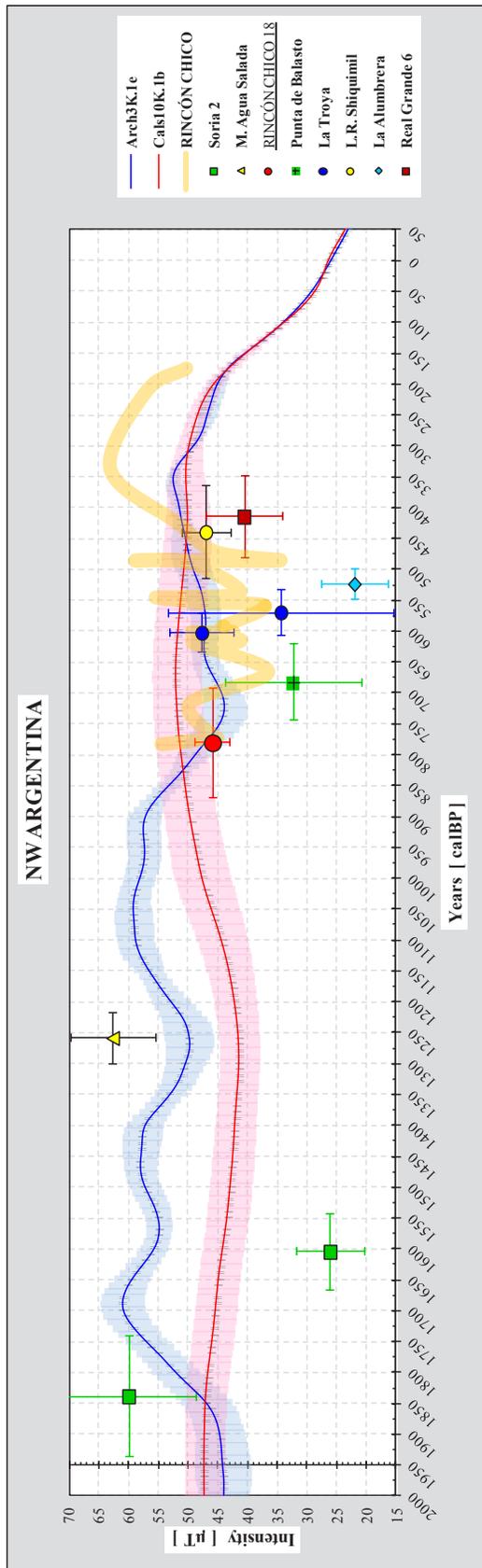
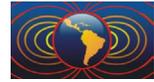


Figura 3. Noroeste de Argentina. Arqueointensidades con los modelos predictivos ARCH3K.1e y CALS10K.1b (GEOMAGIA v3) de los sitios arqueológicos del presente estudio. La curva de Rincón Chico está basada en los datos de Goguitchaichvili y colaboradores (2011).

termorremanentes parciales (pTRM) en todas y cada una de las etapas. Para el caso específico de esta investigación se diseñó con un total de 37 etapas (desde 100° C, 150° C, 200° C, 250° C, 300° C, 350° C, 400° C, 450° C, 475° C, 500° C, 515° C, 540° C y 560° C). En la realización de este experimento se utilizaron un horno ASC Scientific tanto para calentar los especímenes como para inducirles campo magnético controlado y un magnetómetro de giro AGICO JR6 para calcular intensidades y direcciones. La Figura 2d-2g muestra las curvas de pérdida adquisición de magnetización, el diagrama de Arai, Zijderveld y Estereograma de resultados de este experimento.

Determinación de arqueointensidades

Para el cálculo de las arqueointensidades, además de las desmagnetizaciones térmicas, se realizaron los denominados ritmos de enfriamiento a los 560° C (tres horneadas, cuyo enfriamiento se realizó en diferentes tiempos, de allí su nombre) y con ellos tener de la termorremanencia final y hacer las correcciones de las arqueointensidades para obtener las absolutas. Luego se utilizaron los modelos predictivos ARCH3K.1e y CALS10K.1b (GEOMAGIA v3) concatenándolos con los fechamientos radiométricos calibrados mediante el programa OxCal v4.2.4 de Ramsey y Lee (2013) y la curvas atmosféricas IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013) y SHCal13 (ShCal13.14c) (Hogg *et al.*, 2013) obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 3.

Conclusiones

Los materiales arqueológicos permiten estudiar las variaciones del CMT tanto en sus componentes direccionales como en su intensidad proporcionando un registro de alta precisión temporal.

El presente estudio arqueomagnético basado en el análisis de cerámicas arqueológicas aporta información sobre las oscilaciones de la intensidad del CMT en sitios del NOA desde hace aproximadamente 2000 años hasta 550 años AP.

Los resultados obtenidos indican que es posible establecer una tendencia en las variaciones de la arqueointensidad en noroeste de Argentina utilizando



las predicciones de los modelos ARCH3K.1e y CALS10K.1b, salvo dos muestras, una del sitio Soria 2 y La Alumbreira. Claro está la disparidad en cantidad de datos con respecto a otras regiones del mundo. Por tal motivo, se consideran importantes los resultados obtenidos de esta investigación por el aporte que sobre las fluctuaciones de la intensidad en esta zona pudiera proporcionar.

Se pretende que, en el futuro, los datos derivados contribuyan a adecuar una herramienta que facilite la datación arqueomagnética directa en las zonas contempladas en el presente estudio.

Referencias

- Coe R. S., 1967. Paleo-intensities of the earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. *Journal of Geophys. Res.*, 72, 12, 3247-3262.
- Coe R. S., Grommé C.S., 1973. A comparison of three methods of determining paleointensities. *J.R. Astron. Soc.*, 42, 107-115.
- Greco C., 2012. Integración de datos arqueológicos, radiocarbónicos y geofísicos para la construcción de una cronología de Yocavil y alrededores, Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 499 pp.
- Hogg A. G., Hua Q., Blackwell P. G., Niu M., Buck C. E., Guilderson T. P., Heaton T. J., Palmer J. G., Reimer P. J., Reimer R. W., Turney C. S. M., Zimmerman S. R. H., 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55 (4), 1889-1903.
- Khodair A. A., Coe R. S., 1975. Determination of geomagnetic paleointensities in vacuum. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 42, 107-115.
- Kono M., 1969. Intensity of the earth's magnetic field in Pliocene and Pleistocene, D.Sc. thesis, University of Tokyo, Japan, 58 pp.
- Kono M., Ueno N., 1977. Paleointensity determination by a modified Thellier Method. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 305-314.
- Kono M., Tanaka H., 1984. Analysis of the Thellier's Method of Paleointensity Determination 1: Estimation of statistical errors. *J. Geomag. Geoelectr.*, 36, 267-284.
- Kono M., 1984. Analysis of the Thellier's Method of paleointensity determination 2: applicability to high and low magnetic fields. *J. Geomag. Geoelectr.*, 36, 285-297.
- Lee S. S., 1975. Secular variation of the intensity of the geomagnetic field during the past 3,000 years in North, Central and South America, Ph.D. thesis, Univ. of Oklahoma.
- Levi S., 1977. The effect of magnetite particle size on paleointensity determinations of the geomagnetic field. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 245-259.
- Ramsey C. B., Lee S., 2013. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55(2–3), 720-730.
- Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Buck C. E., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hafliðason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, 55 (4), 1869-1887.
- Tanaka H., 1980. Paleointensities of the geomagnetic field determined from recent four lava flows of Sakurajima Volcano. *J. Geomag. Geoelectr.*, 32, 171-179.
- Thellier E., Thellier O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Géophysique*, 15, 285-376.
- Yongjae Y., Dunlop D., 2003. Multivectorial paleointensity determination from the Cordova Gabbro, southern Ontario. *Earth Planetary Science Letters*, 203, 983-998.