

Estudio arqueomagnético de cerámicas del Holoceno elaboradas por sociedades indígenas del Uruguay

Juan Morales, Leda Sánchez-Betucci, Irina Capdepon, Avto Goguitchaichvili

Juan Morales

jmorales@geofisica.unam.mx

Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural y Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM, Unidad Michoacán, Campus Morelia. Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. 58190 Morelia, Michoacán México.

Avto Goguitchaichvili

Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural y Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM, Unidad Michoacán, Campus Morelia. Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. 58190 Morelia, Michoacán México.

Leda Sánchez-Betucci

Facultad de Ciencias, Universidad de la República de Uruguay, Montevideo. Iguá 4225, Malvín Norte, 11400, Montevideo, Uruguay.

Irina Capdepon

CURE - UdelaR y Laboratorio de Estudios del Cuaternario (MEC/UNCIEP-IECA, Facultad de Ciencias) Iguá 4225, Piso 11, Ala Sur. 11400, Montevideo, Uruguay.

RESUMEN

Las variaciones del campo geomagnético en escalas de tiempo arqueológico pueden obtenerse a partir del estudio de estructuras quemadas y cerámica arqueológica fechadas. Presentamos los primeros resultados de arqueointensidad obtenidos de cerámicas del Uruguay elaboradas por sociedades indígenas que ocuparon diversos espacios del territorio uruguayo. Los datos obtenidos de curvas termomagnéticas continuas y de adquisición de magnetización isotermal remanente indican que la titanomagnetita pobre en titanio es la responsable de la remanencia en estos fragmentos cerámicos. Quince fragmentos (~100 especímenes) de los veintidós analizados produjeron estimaciones confiables de intensidad. Las determinaciones de arqueointensidad se obtuvieron empleando el método de Thellier-Coe, mientras que los fechamientos correspondientes utilizando la herramienta de datación *arqueo_dating*. Las arqueointensidades obtenidas del total de las muestras analizadas varían entre $(23.3 \pm 1.4) \mu T$ y $(42.9 \pm 2.4) \mu T$, y corresponden a edades entre 1660 AEC y 1660 EC. Dichas edades son consistentes con las cronologías obtenidas por ^{14}C reportadas para los sitios arqueológicos de donde proviene la cerámica.

Palabras clave: Cerámicas indígenas de Uruguay, Holoceno, Arqueointensidad geomagnética, Fechamiento arqueomagnético.

ABSTRACT

*The study of well-dated archeological potsherds and heated structures (i.e. kilns, floors, etc.) yields the opportunity for a better knowledge of the geomagnetic field variations at archeological timescales. We present the first archeointensity results obtained on Uruguayan ceramics prepared by indigenous societies on the coast of the Uruguay River. Titanomagnetite with low Ti content seem to be the responsible for the remanence in these ceramic fragments, as inferred from the results obtained from continuous thermomagnetic and isothermal remanent magnetization acquisitions curves. Fifteen (~100 specimens) out of the twenty-two analyzed fragments produced reliable archeointensity estimates. Archeointensity determinations were obtained using the Thellier-Coe method, while the corresponding archeointensity dates by using the dating *arqueo_dating* tool. Obtained archeointensities from the total of the analyzed samples vary between $23.3 \pm 1.4 \mu T$ and $42.9 \pm 2.4 \mu T$, and correspond to ages between 1660 BC and 1660 AD. These ages are consistent with ^{14}C dates previously reported in the area.*

Keywords: Indigenous societies of the Uruguay, Holocene, Geomagnetic Archeointensity, Archeomagnetic dating.

BOL. SOC. GEOL. MEX. 2019

VOL. 71 NO. 2

P. 481 – 495

<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n2a15>

Manuscrito recibido: Enero 14, 2018.

Manuscrito corregido: Julio 25, 2018.

Manuscrito aceptado: Agosto 2, 2018.

1. Introducción

El material cerámico se considera como una de las tareas artesanales más antiguas que los seres humanos han realizado. Su estudio permite reconocer aspectos tecnológicos y productivos de las sociedades que lo manufacturó, utilizó y desechó, aportando datos sobre economía, alimentación, comercio, intercambio, movilidad, organización social y costumbres, entre otros (Shepard, 1954; Rice, 1987; Cobas y Prieto, 1998; Prieto, 2003).

Actualmente en Uruguay no se cuenta con evidencias contundentes que permitan relacionar los materiales cerámicos, adjudicados a distintos grupos étnicos, a un espacio y tiempo concreto. A pesar de que varios autores, desde los inicios de las investigaciones arqueológicas en Uruguay, han propuesto clasificaciones y modelos de ocupación prehistórica (Serrano 1933, 1936, 1972; Austral, 1977; Díaz y Fornaro, 1977; Hilbert, 1991), los límites cronológicos aún siguen siendo difusos. En este sentido, el presente trabajo busca contribuir con información que permita ajustar con mayor precisión la temporalidad de la cerámica del territorio uruguayo.

Las investigaciones de campo y laboratorio llevadas adelante por Capdepon (2013) han ubicado diversas zonas arqueológicas alfareras, situadas en distintas unidades del paisaje [terrenos elevados por acción natural (albardones) y antrópica (estructuras monticulares en tierra – cerritos), costas de río, estuario y océano] utilizadas como áreas formales de enterramientos y asentamientos. Las investigaciones ponen en evidencia que durante el Holoceno existieron las condiciones propicias y estratégicas para el establecimiento de diferentes grupos indígenas alfareros que practicaron la caza, recolección, pesca, horticultura y/o agricultura. Para estos grupos se postula una alta conectividad social y cultural (Capdepon, 2013). Desde el punto de vista del arqueomagnetismo, Sudamérica puede considerarse aún como *tierra virgen*. No obstante, se han realizado estudios en Perú (Shaw *et al.*, 1996) y Ecuador

(Bowles *et al.*, 2002) pero sin mediciones sistemáticas de arqueointensidad. La principal limitación de este tipo de estudios es que la mayoría del material arqueológico disponible para estudios arqueomagnéticos es material no orientado (*i.e.* piezas utilitarias como vasijas o aquellas empleadas en rituales ceremoniales), lo cual limita el número de determinaciones de arqueodirecciones (declinación e inclinación magnética) del campo geomagnético. En contraste, un estudio de arqueointensidad absoluta tiene la gran ventaja de que no requiere de material orientado.

Recientemente Hartmann *et al.* (2009) reportaron los primeros resultados de la arqueointensidad del noreste de Brasil, obtenidos de 14 grupos de fragmentos de ladrillo arquitectónico muestreados en la ciudad de Salvador, estado de Bahía. Sin embargo, el estudio está restringido a un intervalo de tiempo muy corto, entre mediados del siglo XVI y principios del siglo XIX. Asimismo, Gogutchai-chvili *et al.* (2012) llevaron a cabo una investigación de arqueointensidad en algunos fragmentos cerámicos seleccionados de los humedales del Paraná inferior (región Pampeana, Argentina) con el fin de construir la primera curva maestra de arqueointensidad para Sudamérica. No obstante, el estudio está restringido a un intervalo de tiempo muy reciente, entre 410 AD y 1285 AD.

Debido a la escasa aplicación de métodos arqueomagnéticos en la reconstrucción cronológica relacionada con las etapas iniciales de ocupación humana con alfarería en Uruguay, este trabajo aporta datos cronológicos confiables, sustentados con evidencias arqueológicas o dataciones de contextos cerámicos. Se analizaron 15 fragmentos cerámicos recuperados de diversos sitios arqueológicos ubicados en cinco departamentos de Uruguay. Diez de estos fragmentos provienen de contextos arqueológicos datados por ^{14}C (Sitio La Esmeralda, Cráneo Marcado, Guardia del Monte, García Ricci y Yale 27) y tres fragmentos presentan cronologías por TL (Tiestos del Sitio Guayacas). Las cronologías arqueomagnéticas realizadas sobre los propios

fragmentos cerámicos, obtenidas en esta investigación, concuerdan con los datos cronológicos previos de los contextos de hallazgo del material. Ello estaría confirmando la utilidad de esta metodología como herramienta alternativa para el fechamiento. Para los 3 fragmentos restantes (Sitio Isla de Arriba, Isla Mellizas y costa de Canelones), carentes de cronologías previas, se estimaron los intervalos de edad más probables.

2. Área de estudio

El área de estudio comprende diferentes sitios arqueológicos localizados en cinco departamentos del Uruguay (Figura 1). Dos de estos sitios, Guayacas (en un tope de lomada) e Isla mellizas (en el río Uruguay) se ubican en el departamento de Paysandú. Este departamento se encuentra en el litoral oriental del río Uruguay, al igual que el

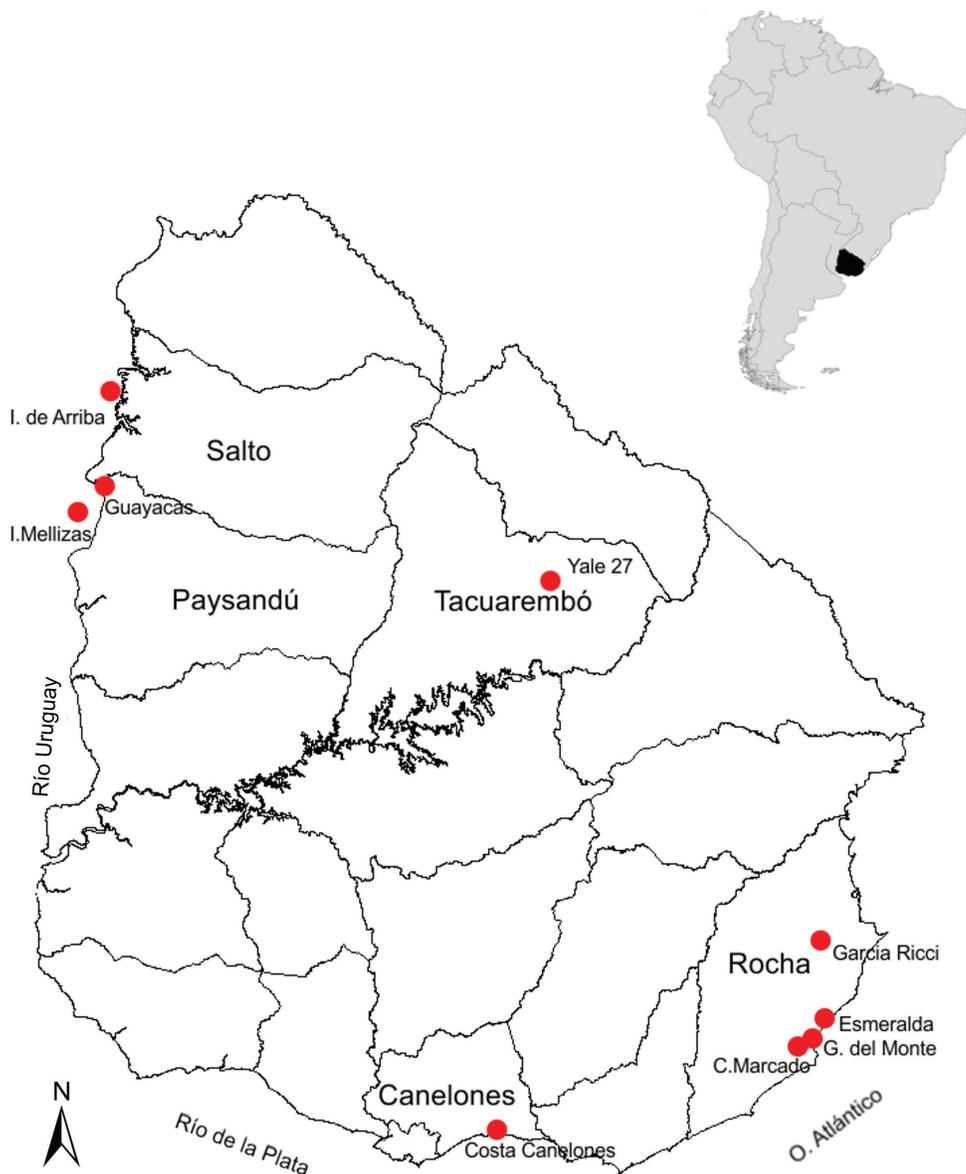


Figura 1 Mapa de ubicación de los 5 departamentos de donde provienen los tiestos estudiados.

departamento de Salto, donde se ubica el sitio Isla de Arriba. En el departamento de Tacuarembó, ubicado en el centro-norte del territorio, se encuentra el sitio Lemos, en donde se encuentra la estructura monticular Yale 27. Otros cuatro sitios se encuentran en el departamento de Rocha, ubicado al sur-este de Uruguay. Tres de estos sitios (Cráneo Marcado, Guardia del Monte y García Ricci) se caracterizan por la presencia de cerritos de indios y el otro (La Esmeralda) está conformado por acumulaciones de material biogénico (concheros) y materiales superficiales en los espacios interdunares. En el departamento de Canelones el material se encuentra en la costa de confluencia del Río de la Plata y el océano Atlántico.

3. Materiales y métodos

De los sitios mencionados ($n=9$) se analizaron 16 fragmentos de cerámica. Cuatro de los fragmentos muestreados son del departamento de Paysandú (tiestos 7, 12, Gy0633 y Gy04042), uno de Salto (tiesto 5611), tres de Tacuarembó (tiestos 47, 9 y 29), siete de Rocha (tiestos 8, 11, CM01, CM03, 5, CO08 y CO13) y uno de Canelones (tiesto 10). Estos fragmentos fueron muestreados mediante su seccionamiento en cuadros de $\sim 1\text{cm} \times 1\text{cm}$, obteniendo entre 6 y 7 especímenes de cada uno. Los especímenes así obtenidos fueron prensados en pastillas cilíndricas de sal con dimensiones similares a las de las muestras paleomagnéticas estándares para facilitar su tratamiento (Figura 2).

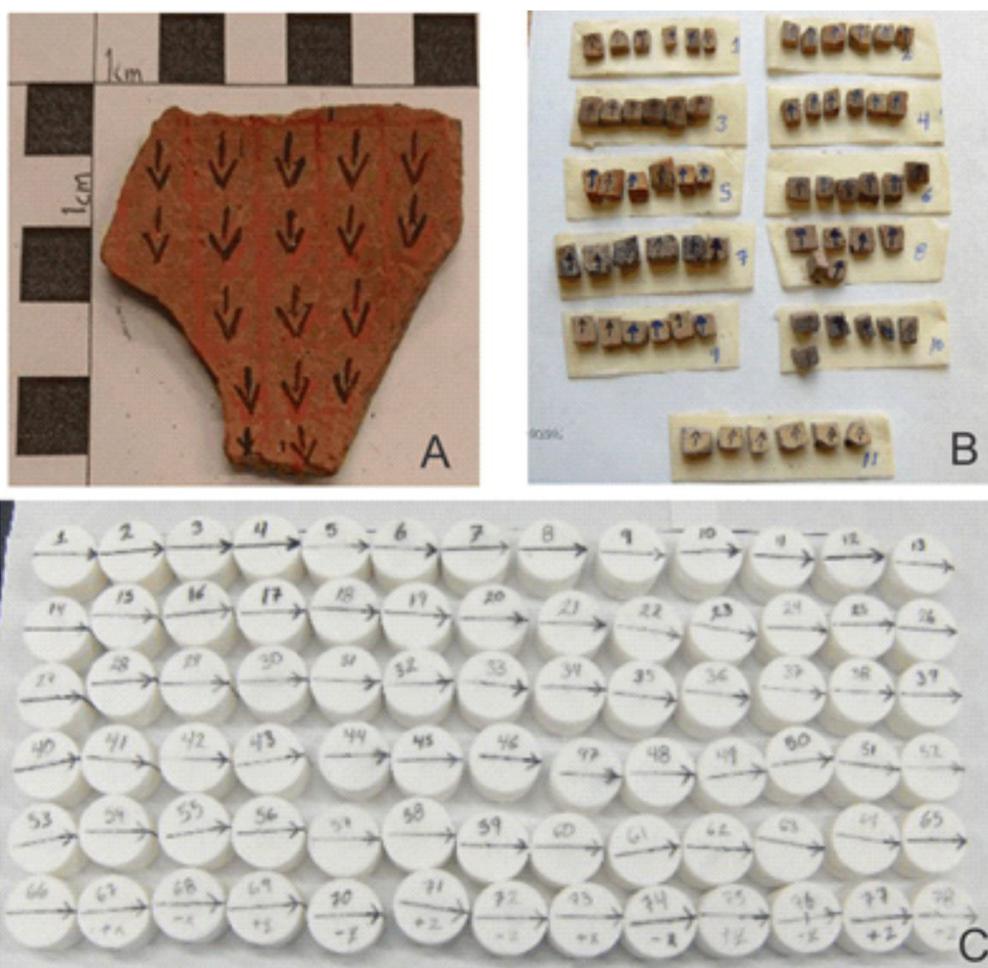


Figura 2 (a) Muestra representativa de cerámica, marcada para seccionarse; (b) cerámica seccionada en cuadros de $\sim 1\text{cm}^2$; (c) pastillas de sal conteniendo un fragmento cerámico.

La determinación de propiedades magnéticas se realizó en muestra pulverizada (300 mg), la cual fue obtenida al pulverizar los pequeños fragmentos resultantes del proceso de seccionado descrito anteriormente, mediante el empleo de una balanza termomagnética (AVFTB), lo que generó las curvas siguientes: adquisición de IRM, campo reverso, histéresis magnética y curva termomagnética. El análisis de las curvas obtenidas se llevó al cabo por medio del software RockMagAnalyzer 1.0 (Leonhardt, 2006).

La determinación de arqueointensidades se realizó por medio de experimentos tipo Thellier-Coe

(Thellier y Thellier, 1959; Coe, 1967), utilizando para ello un horno ASC Scientific TD48-SC. Se realizaron diez pasos dobles de temperatura que fueron distribuidos a través del intervalo total de temperatura empleado ($25^{\circ}\text{C} - 540^{\circ}\text{C}$), con una reproducibilidad de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ entre dos calentamientos a la misma temperatura. La intensidad de campo de laboratorio se estableció en $45 \pm 0.5 \mu\text{T}$. Se añadieron al procedimiento de laboratorio las pruebas conocidas como *pTRM checks* cada tercer paso de temperatura, así como las conocidas como *pTRM Tail checks* (Riisager y Riisager, 2001) a 2 temperaturas intermedias (350 y 450°C).

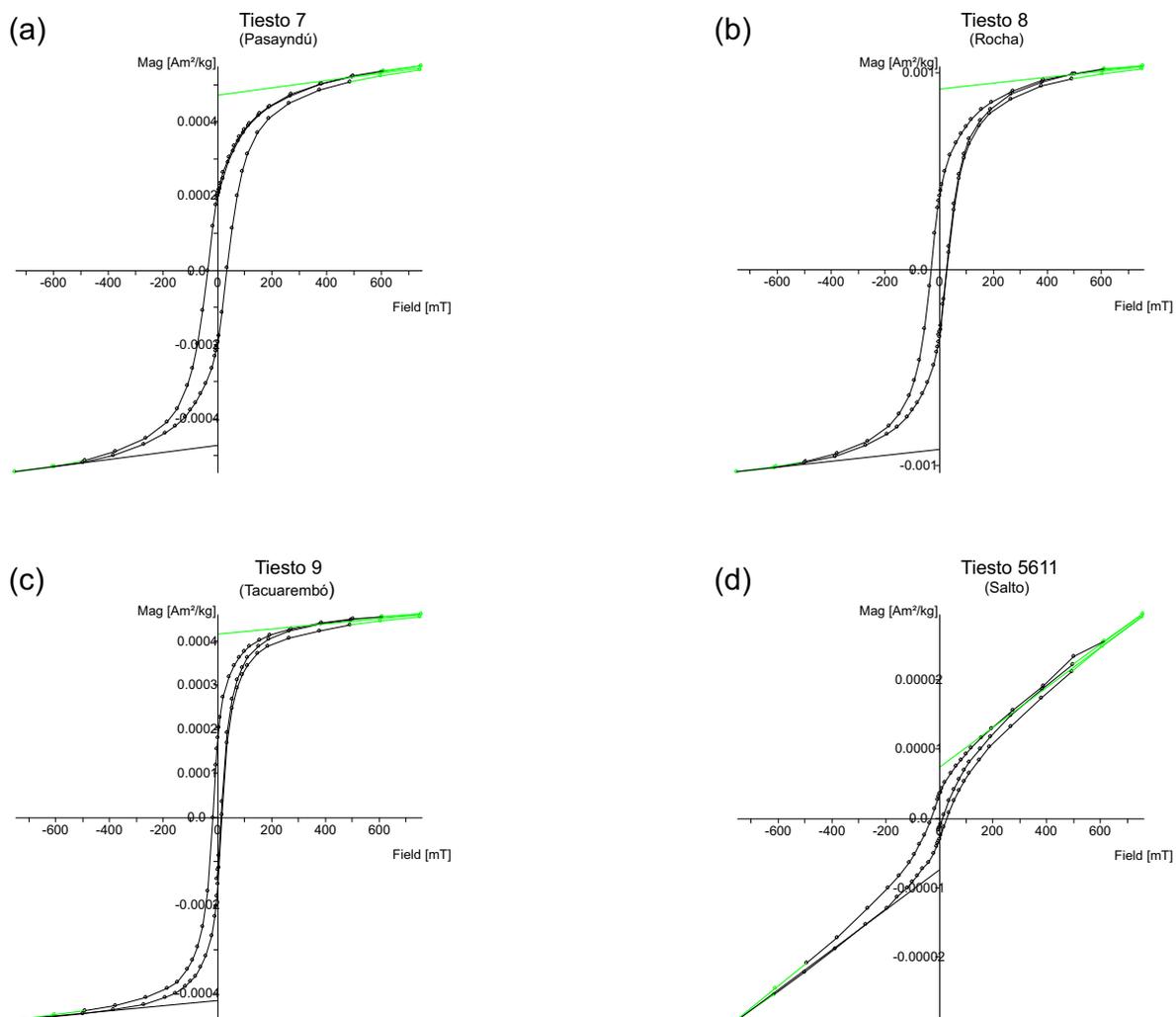


Figura 3 Ejemplos representativos de curvas de histéresis magnética de los fragmentos cerámicos analizados. (a) - (c) Curvas pertenecientes al tipo *pot-bellied*. (d) Curva perteneciente al tipo *wasp-waisted*.

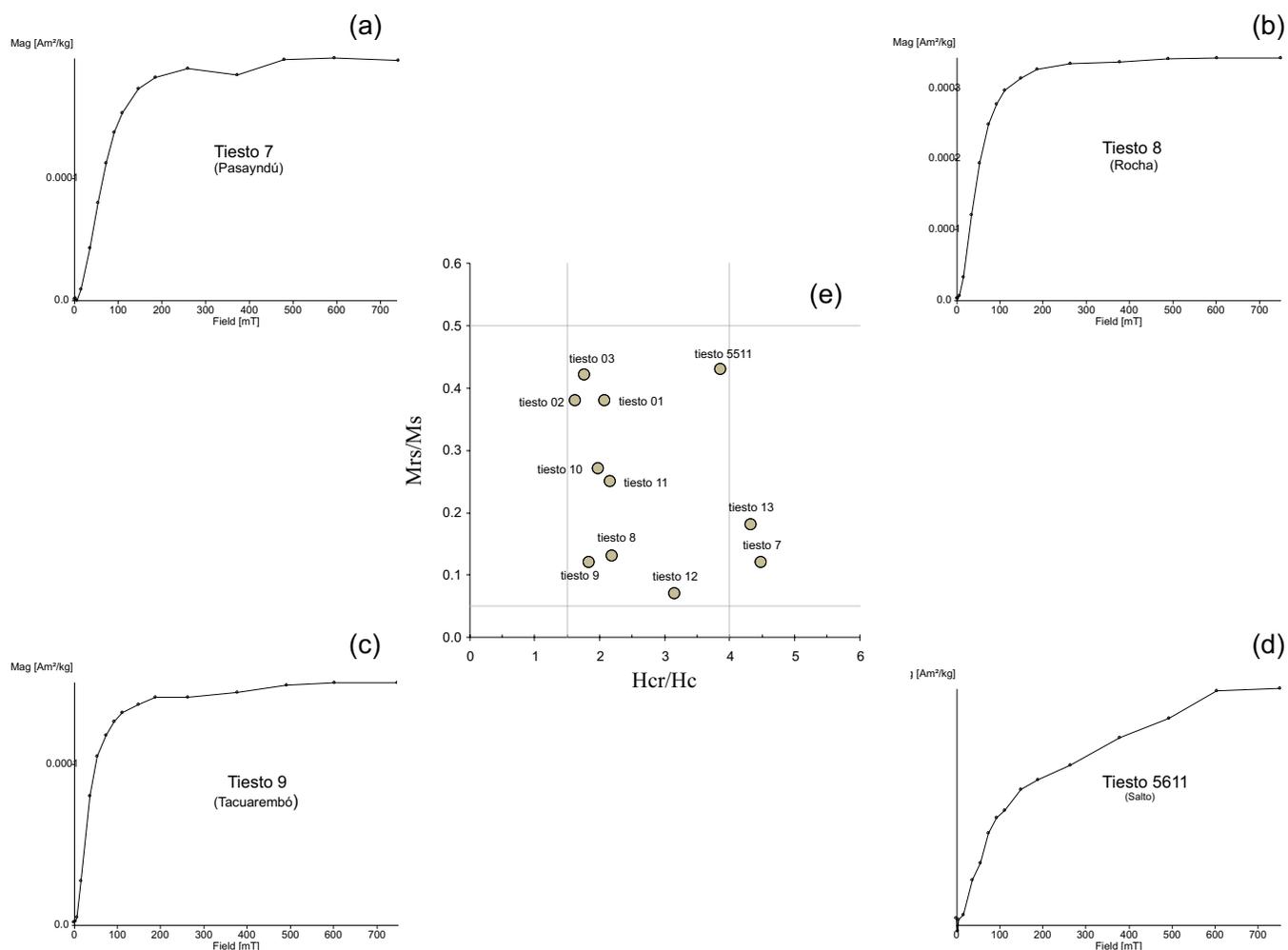


Figura 4 Ejemplos representativos de curvas de adquisición de IRM de los fragmentos cerámicos analizados. (a) – (c). La saturación se alcanza entre los 200 y 300 mT. (d) La saturación se alcanza hasta los 600 mT, sugiriendo la posible presencia de hematita. (e) Diagrama de Day en el que se observa que la mayoría de las muestras grafican en la región conocida como PSD.

El análisis de las determinaciones se llevó a cabo por medio del software ThellierTool 4.11 (Leonhardt *et al.*, 2004).

La dependencia de la intensidad de la magnetización con el ritmo de enfriamiento fue investigada siguiendo un procedimiento modificado al descrito por Chauvin *et al.*, 2000 (véase Morales *et al.*, 2009), con un tiempo de enfriamiento lento de 6 h entre los 540°C y 20°C.

Existen diferentes maneras para realizar las correcciones por anisotropía de la TRM (ATRM) como las propuestas por McCabe *et al.* (1985), Selkin *et al.* (2000), Chauvin *et al.* (2000), entre

otros, que generalmente son procesos largos. Alternativamente, en esta investigación los especímenes de una misma muestra se prensaron (en pastillas de sal) colocados en seis posiciones diferentes a fin de disminuir el sesgo relacionado a los efectos de la ATRM, como se ha comprobado experimentalmente con anterioridad (Morales *et al.*, 2007, 2011, 2012).

La datación relativa de piezas cerámicas (arqueológicas) se realiza por contexto o estilo cerámico, mientras que la datación absoluta de la mismas se efectúa mediante la técnica tradicional del radio-carbono (¹⁴C) y, más recientemente, por medio de

la termoluminiscencia (TL). Para la primera de éstas se requiere, necesariamente, la disponibilidad de materia orgánica certeramente asociada al objeto o contexto a datar. No obstante, se data el material orgánico, no la pieza propiamente. En el caso de la TL, una estimación certera de la paleo-dosis del sitio es igualmente requerida. Alternativamente, la comparación de la intensidad del campo magnético antiguo (H_{ant}), grabada en las piezas cerámicas al momento de su cocción o última exposición al fuego, contra curvas de variación paleosecular (VPS) disponibles para los últimos milenios, permite determinar la edad

más probable de una pieza cerámica. En el caso de estructuras arcillosas *in-situ* (fogones, pisos y muros quemados) es posible además determinar la dirección antigua (declinación e inclinación) del H_{ant} , y hacer la comparación de estos parámetros contra las curvas VPS correspondientes, obteniendo de esta forma el intervalo de edad más probable a partir de la probabilidad combinada de los tres parámetros.

En este estudio, el fechamiento arqueomagnético se realizó tras la obtención de las correspondientes arqueointensidades de las diferentes muestras; los resultados fueron analizados con la herramienta

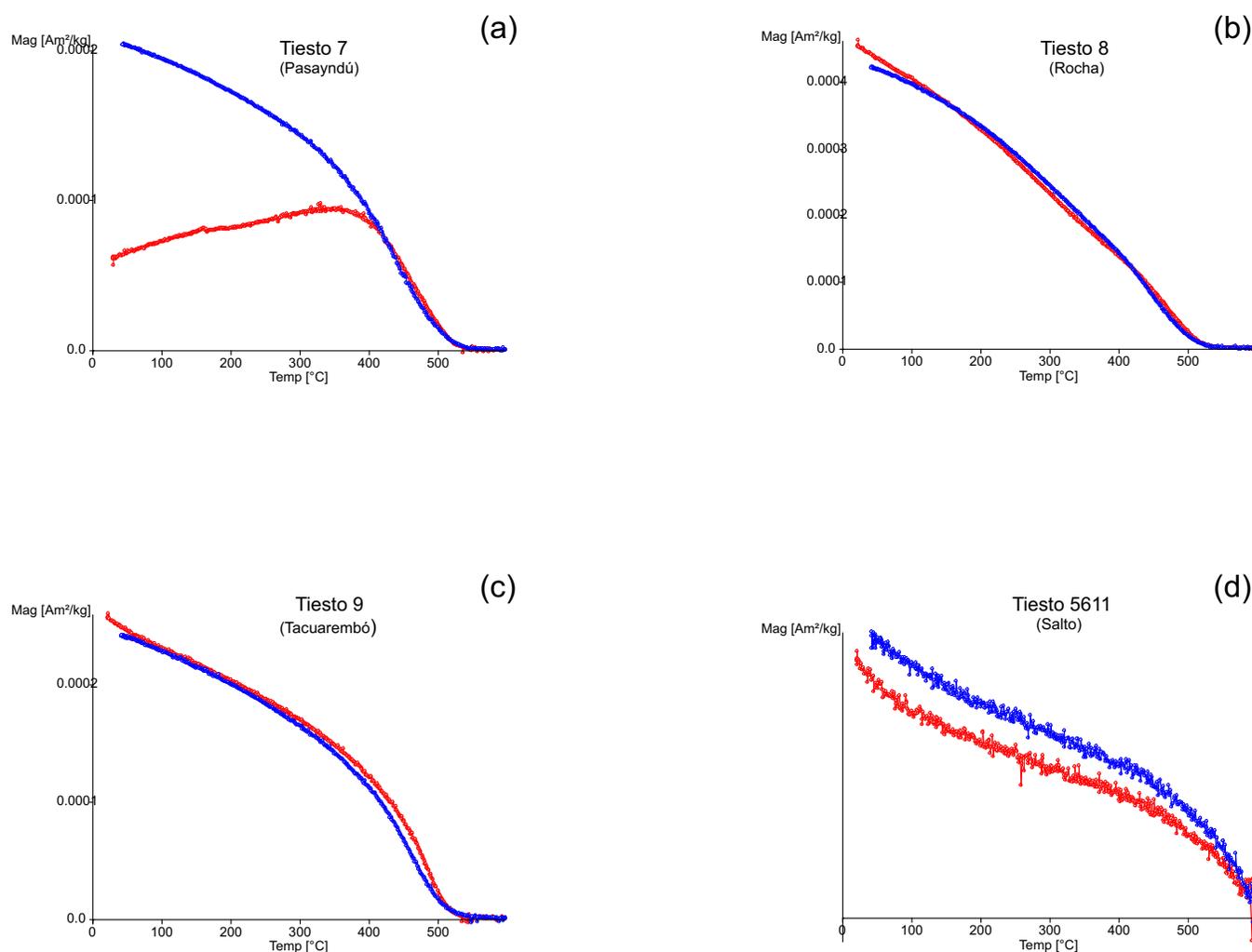


Figura 5 Ejemplos representativos de curvas termomagnéticas (M-T) de los fragmentos cerámicos analizados. (a) - (d).

de datación arqueomagnética *archaeo_dating*, implementada en Matlab por Pavón-Carrasco *et al.* (2011).

4. Resultados

La forma de las curvas de histéresis es predominantemente del tipo *pot-bellied* (Figura 3a a 3c), con diferente contribución paramagnética. No obstante, la curva correspondiente al tiesto 5611 pertenece

al tipo *wasp-waisted* (Figura 3d). La coercitividad (B_c) varía entre los 4.5 y 40.0 mT, mientras que la coercitividad de remanencia (B_{cr}) entre los 11.3 y 154.6 mT. Por su parte, la magnetización de saturación (M_s) varía entre 7.0×10^{-6} y 9.7×10^{-4} Am/kg, mientras que la magnetización de saturación de remanencia (M_{rs}) entre 3.0×10^{-6} y 3.5×10^{-4} Am/kg. Todas las muestras alcanzan la saturación en campos alrededor de los 200-300 mT (Figura 4a a 4c), con excepción de la muestra tiesto 5611, que lo hace hasta \sim los 600 mT (Figura

Tabla 1. Resultados de arqueointensidad de tiestos fechados. Descripción de las diferentes columnas. Muestra: nombre del tiesto; Labname: nombre de laboratorio; AI: arqueointensidad; σ : desviación estándar; Tmin/Tmax: temperatura mínima (máxima) utilizada para el ajuste por mínimos cuadrados; N: número de puntos utilizados para el ajuste; m: pendiente del mejor ajuste por mínimos cuadrados; β : σ/m ; f, g y q: parámetros de calidad, definidos por Coe *et al.* 1978; MAD anchored: Desviación angular máxima anclada al origen; α : diferencia angular entre la mejor solución anclada y no anclada; Clase: (A, B o C); δ CK: error relativo de la verificación.

Muestra	Labname	AI [μ T]	σ [μ T]	Tmin/Tmax [$^{\circ}$ C]	N	m	β	f	g	q	MAD anchored	α	Clase	δ CK
Tiesto 7	90S1029A	38.16	2.45	20-400	5	-1.27	0.06	0.55	0.57	4.9	5.2	8.6	B	4.3
Tiesto 7	90S1030A	46.34	5.04	20-400	5	-1.54	0.11	0.62	0.56	3.2	5.2	7.5	B	4
Tiesto 7	90S1031A	35.72	4.97	20-500	8	-1.19	0.14	0.73	0.77	4	4.8	7.1	B	4.2
Tiesto 7	90S1032A	N/R			0									
Tiesto 7	90S1033A	N/R			0									
Tiesto 7	90S1034A	N/R			0									
Tiesto 7	90S1035A	N/R			0									
	prom =	40.1												
	dst =	5.6												
Tiesto 8	90S1036A	N/R			0									
Tiesto 8	90S1037A	32.86	1.61	20-560	10	-1.1	0.05	0.96	0.83	16.2	9.3	6.7	C	8.5
Tiesto 8	90S1038A	32.66	1.29	20-560	11	-1.09	0.04	0.99	0.88	22.1	12.6	7.5	B	5.4
Tiesto 8	90S1039A	36.31	1.54	20-560	11	-1.21	0.04	0.97	0.87	19.7	7.5	5.3	B	6.1
Tiesto 8	90S1040A	26.89	1.83	300-500	6	-0.9	0.07	0.5	0.76	5.6	2.7	2.6	A	4.8
Tiesto 8	90S1041A	31.42	1.44	20-560	11	-1.05	0.05	0.96	0.88	18.5	8.7	7.3	B	6.2
Tiesto 8	90S1042A	33.29	1.56	20-560	10	-1.11	0.05	0.99	0.86	18.1	8.6	4.2	B	6.1
	prom =	32.2												
	dst =	3.1												
Tiesto 9	90S1234A	38.16	2.45	20-400	5	-1.27	0.06	0.55	0.57	4.9	5.2	8.6	B	4.3
Tiesto 9	92S1235A	33.16	3.3	20-500	8	-1.11	0.1	0.81	0.83	6.7	4.7	4.9	B	5.2
Tiesto 9	92S1236A	17.86	1.46	400-540	5	-0.6	0.08	0.59	0.73	5.3	3.1	3	A	4.7
Tiesto 9	92S1237A	29.72	2.4	20-500	8	-0.99	0.08	0.8	0.83	8.1	2.9	1.4	A	3.6
Tiesto 9	92S1238A	32.56	2.66	20-500	8	-1.09	0.08	0.84	0.82	8.5	2.8	4.5	A	2
Tiesto 9	92S1239A	31.06	2.65	20-500	8	-1.04	0.09	0.89	0.83	8.6	6.2	6.1	B	2.8
	prom =	30.4												
	dst =	6.8												

Tabla 2. Resultados de arqueointensidad de tiestos no fechados. Descripción de las diferentes columnas. Muestra: nombre del tiesto; Tmin/Tmax: temperatura mínima (máxima) utilizada para el ajuste por mínimos cuadrados; N: número de puntos utilizados para el ajuste; f, g y q: parámetros de calidad, definidos por Coe *et al.* 1978; AI: arqueointensidad; σ desviación estándar (Continúa en la siguiente página).

Departamento Localidad	Muestra	Tmin- Tmax [°C]	N	f	g	q	AI [μ T]	$\pm 1\sigma$ [μ T]
Canelones Costa	Tiesto 10	20-560	10	0.82	0.66	3.3	18.01	2.95
		20-500	8	0.55	0.84	5.1	37.69	3.36
		20-515	9	0.85	0.83	8.2	50.5	4.34
		20-500	8	0.33	0.8	2.1	21.15	2.69
		20-500	8	0.39	0.83	2.3	22.98	3.28
							Prom =	44.1
Rocha Duna	Tiesto 11	20-500	8	0.67	0.84	9.7	36.03	2.08
		350-515	6	0.44	0.78	7	38.04	1.84
		20-515	9	0.69	0.85	14.1	44.65	1.87
		300-500	6	0.44	0.78	9.4	37.81	1.38
		350-515	6	0.45	0.77	6	34.26	2
							Prom =	38.2
Pasayndú Costa arroyo	Tiesto 12	20-450	6	0.71	0.77	4.7	33.43	3.9
		20-475	7	0.84	0.79	7.6	34.5	2.99
							Prom =	34
Rocha Garcia Ricci 008	CO08	250-530	8	0.618	0.814	3.15	21.42	3.42
		250-530	9	0.596	0.826	4.91	24.71	2.48
		200-530	10	0.673	0.851	5.55	23.54	2.43
		250-530	9	0.608	0.84	5.57	24.53	2.25
		200-530	10	0.676	0.85	6.31	22.23	2.03
							Prom =	23.3
Rocha Garcia Ricci 013	CO13	250-400	4	0.456	0.628	1.54	42.53	7.92
		150-475	8	0.748	0.809	6.98	36.36	3.15
		250-400	4	0.341	0.664	2.44	45.14	4.19
		200-515	9	0.65	0.832	9.84	35.19	1.94
		250-515	7	0.677	0.795	6.34	36.59	3.11
							Prom =	39.2
Pasayndú Guayacas	GY0H042	150-530	11	0.846	0.866	10.59	31.86	2.21
		200-515	9	0.626	0.844	7.02	60.98	4.59
		150-500	10	0.564	0.804	8.76	45.23	2.34
		150-500	10	0.566	0.821	7.42	53.91	3.38
		150-500	10	0.628	0.838	7.84	55.67	3.74
		150-500	10	0.741	0.848	9.61	30.29	1.98
						Prom =	46.3	12.9

Tabla 2. (Continuación) Resultados de arqueointensidad de tiestos no fechados. Descripción de las diferentes columnas. Muestra: nombre del tiesto; Tmin/Tmax: temperatura mínima (máxima) utilizada para el ajuste por mínimos cuadrados; N: número de puntos utilizados para el ajuste; f, g y q: parámetros de calidad, definidos por Coe *et al* 1978; AI: arqueointensidad; σ desviación estándar.

Departamento Localidad	Muestra	Tmin- Tmax [°C]	N	f	g	q	AI [μ T]	$\pm 1\sigma$ [μ T]
Rocha	CRANEO MARCADO 03	150-540	12	0.984	0.858	16.89	40.5	2.03
Cerrito Laguna de Castillos		150-475	10	0.934	0.835	18.46	47.93	2.03
		150-540	10	0.972	0.822	22.46	35.42	1.26
		150-500	10	0.887	0.803	13.03	46.94	2.57
						Prom =	42.7	5.9
Rocha	5	150-515	10	0.736	0.836	10.22	38.12	2.3
La Esmeralda		150-515	10	0.818	0.864	15.36	36.18	1.67
		150-450	7	0.579	0.735	6.6	53.01	3.42
		150-515	9	0.696	0.81	9.35	33.57	2.03
		150-500	9	0.736	0.826	13.28	36.36	1.67
		150-515	11	0.744	0.875	8.14	31.5	2.52
						Prom =	38.1	7.7
Tacuarembó	29	150-540	10	0.898	0.858	10.72	27.54	1.98
Yale		150-475	9	0.821	0.821	8.03	25.2	2.12
						Prom =	26.4	1.7
Rocha	CRANEO MARCADO 01	200-540	9	0.855	0.844	34.93	43.56	0.9
Cerrito Laguna de Castillos		150-540	10	0.88	0.861	19.58	45.36	1.76
		150-540	11	0.857	0.865	27.43	44.96	1.22
		150-500	9	0.78	0.808	22.67	43.7	1.22
		150-540	10	0.912	0.856	34.82	40.14	0.9
		150-500	8	0.743	0.763	20.09	39.87	1.13
						Prom =	42.9	2.4
Paysandú	GY 0633	150-515	10	0.516	0.862	8.42	42.57	2.25
Guayacas		150-540	12	0.652	0.849	7.75	41.58	2.97
		150-540	11	0.662	0.84	12.11	41.18	1.89
		150-500	9	0.524	0.847	5.45	51.39	4.19
		150-500	9	0.482	0.846	4.8	41.81	3.56
		200-515	9	0.467	0.852	9.16	37.31	1.62
						Prom =	42.6	4.7

4d), sugiriendo en esta última la presencia de un mineral magnético de alta coercitividad, como la hematita. La localización de la mayoría de las muestras dentro del diagrama de Day se encuentra básicamente en la región de los dominios pseudo simples (PSD) (Figura 4e), con excepción de los tuestos 7 y 13. Las curvas termomagnéticas son bastante reversibles, excepto para el tuesto 7, presentando una fase ferrimagnética compatible con titanomagnetita pobre en Ti (Figura 5a a 5c). En

caso del tuesto 5611 (Figura 5d), su temperatura de Curie (T_c) es mayor a los 600 °C, lo que podría sugerir la presencia de hematita.

Los resultados de arqueointensidad obtenidos del tuesto 7 (con cronología por TL) y los obtenidos para los tuestos 8 y 9 (con cronología de contexto por ^{14}C), corregidos por ritmo de enfriamiento, se presentan en la Tabla 1, junto con diferentes parámetros de calidad. De la misma forma, en la Tabla 2 se exponen los resultados correspondien-

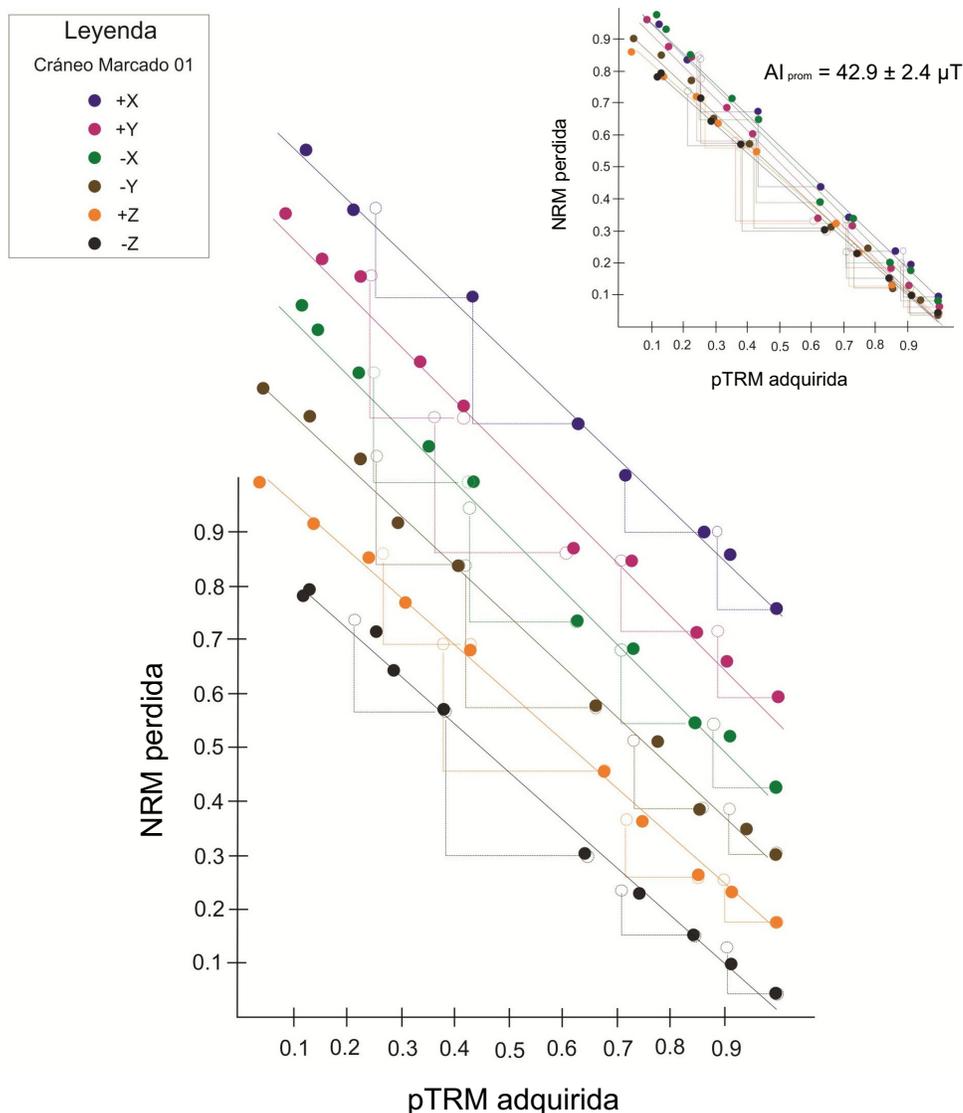


Figura 6 Resultados de arqueointensidad de los 6 especímenes obtenidos de una misma muestra (tuesto CM01). En la parte superior derecha se muestran en el mismo diagrama de Arai los valores normalizados para los seis especímenes. Las pruebas conocidas como *pTRM check's* se ilustran con las líneas punteadas con terminación en círculo vacío. En la parte central se grafican desplazadas para resaltar su paralelismo y, por tanto, la similitud de arqueointensidades obtenidas.

tes a los otros 11 fragmentos estudiados, dos de los cuales carecen de datos cronológicos (tiesto 10 y 12). En la Figura 6 se observan los resultados de arqueointensidad de los 6 especímenes obtenidos de una misma muestra (tiesto CM01). En la parte central de la figura se encuentran graficados los diagramas de Arai desplazados para resaltar su paralelismo y, por tanto, la similitud de arqueointensidades obtenidas.

Las arqueointensidades obtenidas del total de las muestras analizadas varían entre $(23.3 \pm 1.4) \mu\text{T}$ y $(42.9 \pm 2.4) \mu\text{T}$.

Los resultados del fechamiento arqueomagnético (intensidad) de tres muestras con edades previas (tiestos 7, 8 y 9) se presentan en la Figura 7. En cada caso se observan tres posibles intervalos, siendo el intervalo central el que coincide con las cronologías previas obtenidas por ^{14}C (Capdepont *et al.*, 2016; Castiñeira *et al.*, 2010; Gianotti, 2005; Sans, 1985) y por termoluminiscencia [TL (Capdepont, 2013)].

En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos en este trabajo, incluyendo los intervalos de edad más probables para las muestras, incluyendo las dos muestras sin fechamiento por métodos convencionales. Los intervalos de edad más probables estimados corresponden a edades entre 1660 AEC y 1660 EC, las cuales son consistentes con los datos cronológicos de ^{14}C y TL reportados previamente.

5. Discusión y comentarios finales

Cuatro de las cinco muestras pertenecientes al departamento de Rocha muestran intensidades similares, entre los $38.1 \pm 7.7 \mu\text{T}$ y $42.9 \mu\text{T} \pm 2.4 \mu\text{T}$, con una datación arqueomagnética de $\sim [1600\text{AEC} - 1250\text{AEC}]$. Dos de éstas (CM01 y tiesto 5) presentan una correlación bastante buena con dataciones previas por ^{14}C reportadas en Castiñeira *et al.* (2010) y Capdepont

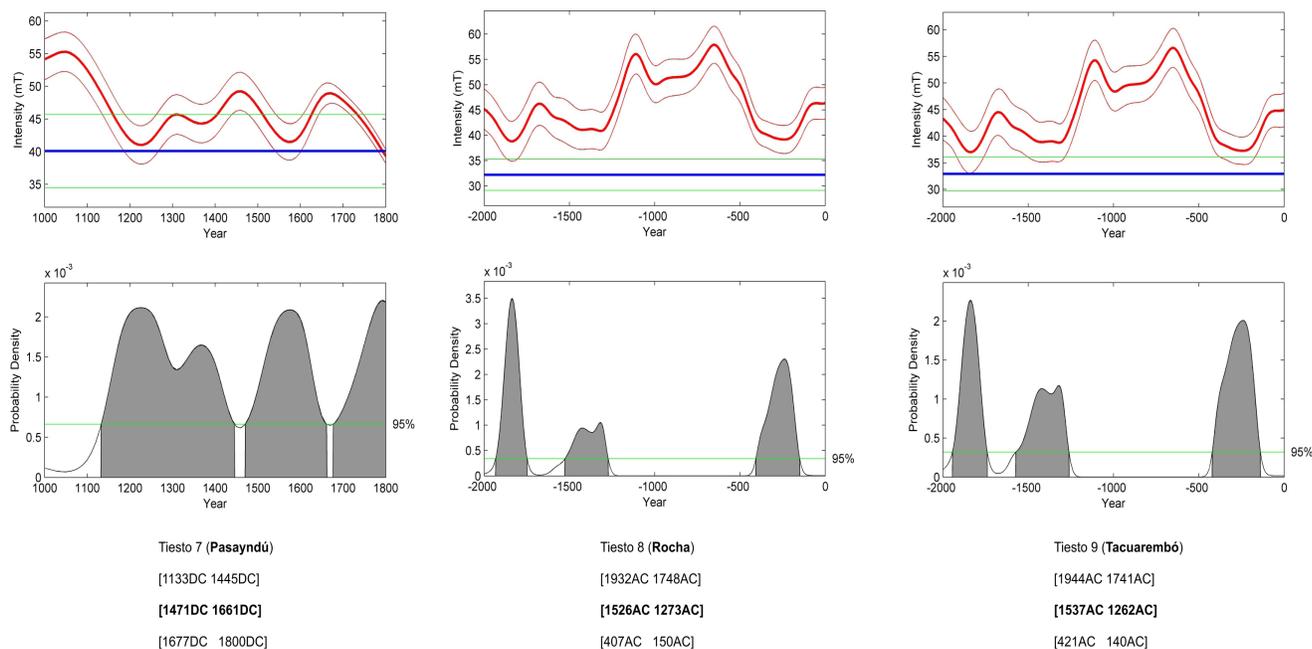


Figura 7 Fechamiento arqueomagnético (intensidad) de 3 muestras con fechamiento previo (tiestos 7, 8 y 9). Paneles superiores: curvas de referencia de intensidad (curvas sólidas gruesas) con la envoltura al 95% de error (curvas delgadas) calculadas a partir del modelo de campo geomagnético global SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.*, 2014) y los datos sin fecha -arqueointensidad (líneas rectas gruesas) con la envoltura de error al 95% (líneas rectas delgadas). Paneles inferiores: función de densidad de probabilidad (PDF), calculado a nivel de 95% de probabilidad, después de la comparación del valor medio de arqueointensidad del sitio con la curva de referencia SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.*, 2014).

et al. (2016). Sin embargo, las edades ^{14}C calibradas para las otras dos muestras (CM03 y tiesto CO13) son más tardías que sus correspondientes dataciones arqueomagnéticas. En este punto vale la pena recordar que se están datando materiales diferentes: carbón vegetal, por un lado, y la propia cerámica, por el otro lado, en el primero de los casos (muestra CM03). Para el segundo caso (tiesto CO13), se están datando materia orgánica en un sedimento y, nuevamente, la propia cerámica. La quinta de ellas (tiesto CO08) presenta, sin embargo, un valor $\sim 40\%$ más bajo que las otras cuatro muestras, para el cual no fue posible estimar un intervalo de edad confiable.

Tres cerámicas provenientes del sitio Guayacas (Departamento de Paysandú) muestran intensidades similares, con una variación entre $(40.1 \pm 5.6$ y $46.3 \pm 12.9) \mu\text{T}$. Cabe destacar que estas muestras

son las únicas que pertenecen a momentos más tardíos (Capdepon, 2013), siendo las cronologías propuestas para las mismas [1471EC - 1656EC], las cuales corresponden bastante bien con las cronologías obtenidas por TL.

En general, las dataciones de las muestras restantes concuerdan con las dataciones por ^{14}C de las zonas correspondientes. A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se proponen temporalidades para piezas carentes de cronologías previas.

Todas las muestras poseen edades correspondientes al Holoceno tardío inicial, a excepción de las localizadas en el sitio Guayacas que se acercan más al momento de contacto entre grupos indígenas y europeos.

Las cronologías presentadas en este trabajo son los primeros fechamientos arqueomagnéticos

Tabla 3. Fechamientos arqueomagnéticos. Descripción de las diferentes columnas. Muestra: nombre del tiesto; Ubicación: zona de proveniencia de los tiestos; Departamento: Uruguay está formado por 19 departamentos, que son las entidades subnacionales de primer orden; Edad: fechamientos disponibles de la zona por diferentes métodos; método: de fechamiento (TLD: Termoluminiscencia; ^{14}C : radio carbono; ND: no disponible); material: tipo de material utilizado para el fechamiento (COH: Capa de ocupación humana; CV: Carbón vegetal; C: Cerámica); AI: arqueointensidad absoluta determinada; 1σ : desviación estándar; Intervalo probable: El intervalo de edad estimado arqueomagnéticamente. Los renglones resaltados en Negrita corresponden a muestras con fechamientos disponibles por otros métodos.

Muestra	Ubicación	Departamento	Edad aP	método	material	AI μT	$\pm 1\sigma$ μT	Intervalo probable
T47	Yaguari	Tacuarembó	3060 \pm 45	^{14}C	CV	40.3	2	1660AEC 1229AEC
Tiesto 7	Guayacas Sector B4	Paysandú	400	TLD	C	40.1	5.6	1471EC 1661EC
Tiesto 8	Costa lagunar	Rocha	\sim 3050	^{14}C	COH	32.2	3.1	1526AEC 1273AEC
Tiesto 9	Cerrito	Tacuarembó	\sim 3000	^{14}C	CV	32.9	3.2	1537AEC 1262AEC
Tiesto 10	Costa	Canelones	ND			44.1	9.1	
Tiesto 11	Duna	Rocha	ND			38.2	3.9	
Tiesto 12	Costa arroyo	Paysandú	ND			34	0.8	
Tiesto 01	Cerrito Laguna de Castillos	Rocha	ND			42.9	2.4	
Tiesto 03	Cerrito Laguna de Castillos	Rocha	ND			42.7	5.9	
Tiesto 05	La Esmeralda	Rocha	ND			38.1	7.7	
Tiesto 29	Yale 27	Tacuarembó	ND			26.4	1.7	
CO08	García Ricci	Rocha	ND			23.3	1.4	
CO13	García Ricci	Rocha	ND			39.2	4.4	
Gy0633	Guayacas	Paysandú	ND			42.6	4.7	
Gy04042	Guayacas	Paysandú	ND			46.3	12.9	

de tiestos cerámicos elaborados por sociedades indígenas de Uruguay. Asimismo, el trabajo muestra la utilidad de esta metodología como medio alternativo de datación para obtener cronologías precisas relacionadas con la producción y dispersión de la cerámica indígena de Uruguay.

Agradecimientos

AG agradece el apoyo financiero de los proyectos CONACyT 252149 y UNAM-PAPIIT IN105214 y 101717. Se agradece la participación de María de la Luz Gómez Rivera en el trabajo experimental.

Referencias

- Austral, A., 1977, Arqueología de urgencia en el Yacimiento de Bañadero: Uruguay, Seminario sobre Medio Ambiente y Represas, 2, 3–20.
- Bowles, J., Gee, J., Hildebrand, H.J., Tauxe, L., 2002, Archeomagnetic intensity results from California and Ecuador: evaluation of regional data: *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 967–81.
- Capdepon, I., 2013, Arqueología de sociedades indígenas del litoral del río Uruguay: Alemania, Publicia, 9–80.
- Capdepon, I., Castiñeira, C., del Puerto, L., Fernández, G., 2016, Desarrollo de las ocupaciones humanas durante el Holoceno en la cuenca de la Laguna de Castillos (Uruguay): síntesis y actualización de las investigaciones arqueológicas: *TESSITURAS*, 4(1), 53–93.
- Castiñeira, C., Panario, D., Bracco, R., Gutiérrez, O., 2010, Concheros en la costa atlántica uruguaya y su vinculación con la dinámica litoral, en *Arqueología Argentina en los inicios de un Nuevo Siglo*: Rosario, Laborde Libros Editor, 635–643.
- 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, 111–36.
- Cobas, I., Prieto, M.P., 1998, Regularidades espaciales en la cultura material: la cerámica de la Edad de Bronce y la Edad de Hierro en Galicia: *Gallaecia*, 17, 151–175.
- Coe, R.S., 1967, Paleointensities of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks: *Journal of Geophysical Research*, 72, 3247–3262.
- Coe, R., Grommé, S., Mankinen, E.A., 1978, Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific non-dipole low: *Journal of Geophysical Research*, 83, 1740–1756.
- Díaz, A., M. Fornaro, 1977, Intento de sistematización de las Modalidades Alfareras del Litoral Uruguayo, en V Encuentro de Arqueología del Litoral: Ministerio de Educación y Cultura e Intendencia Municipal de Río Negro, 165–174.
- Gianotti, C., 2005, Intervenciones arqueológicas en el cerrito 27 del conjunto Lemos: *Revista TAPA*, 36, 79–98.
- Goguitchaichvili, A., Loponte, D., Morales, J., Acosta, A., 2012, The Archaeointensity of the Earth's Magnetic Field retrieved from Pampean Ceramics (South America): *Archaeometry*, 54 (2), 388–400.
- Hartmann, G.A., Trindade, R.I.F., Goguitchaichvili, A., Etchevarne, C., Morales, J., Afonso, M.C., 2009, First archeointensity results from Portuguese potteries (1550–1750 AD): *Earth Planets Space*, 61, 93–100.
- Hilbert, K. 1991, Aspectos de la Arqueología en Uruguay: Alemania, Mainz am Rhein Zabern, 52 p.
- Leonhardt, R., 2006, Analyzing rock magnetic measurements: The Rock-MagAnalyzer 1.0 software: *Computers & Geosciences*, 32, 1420–1431.
- Leonhardt, R., Heunemann, C. Krása, D., 2004, Analyzing absolute paleointensity determinations: acceptance criteria and the

- software ThellierTool4.0, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5(12), Q12016.
- 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, 333–6.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Urrutia-Fucugauchi, J., 2007, Cooling rate effect as a cause of systematic overestimating of the absolute Thellier paleointensities: A cautionary note: *Studia Geophysica et Geodaetica*, 51, 315–326.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Acosta, G., González-Morán, T., Alva-Valdivia, L., Robles-Camacho, J., Hernández-Bernal, M.S., 2009, Magnetic properties and archeointensity determination on Pre-Columbian pottery from Chiapas, Mesoamerica: *Earth Planets & Space*, 61, 83–91.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Aguilar-Reyes, B., Pineda-Duran, M., Camps, P., Carvallo, C. Calvo-Rathert, M., 2011, Are ceramics and bricks reliable absolute geomagnetic intensity carriers?: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 187, 310–321.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Aguilar, B., Pineda, M., Carvallo, C., Baramendi, L., Hernandez, G., Oliveros A., 2012, A detailed rock-magnetic and archeointensity investigation on some pottery relics and burned floors from Tzintzuntzan Archeological Site, Western Mesoamerica: *Geoarchaeology*, 27 (6), 521–537.
- Pavón-Carrasco, F. J., Rodríguez-González, J., Osete, M. L., Torta, J., 2011, A Matlab tool for archaeomagnetic dating: *Journal of Archaeological Science*, 38 (2), 408–419.
- Pavon-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., De Santis, A., 2014, A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data: *Earth and Planetary Science Letters*, 388, 98–109.
- Prieto, M.P., 2003, La cerámica neolítica en Galicia. Estudio de la síntesis desde la perspectiva de la Arqueología del Paisaje, en *Actas del III Congreso del Neolítico de la Península Ibérica*: Pablo Arias Cabal, Roberto Otañón Peredo, Cristina García-Moncó Piñeiro (eds.), Universidad de Cantabria, 337–348.
- Rice, P.M. 1987, *Pottery analysis: a sourcebook*: Chicago, University of Chicago Press, 561 p.
- Riisager, P., Riisager, J., 2001, Detecting multidomain magnetic grains in Thellier palaeointensity experiments: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 125, 111–117.
- Sans, M., 1985, Arqueología de la región de Yaguari, Depto. De Tacuarembó, en *Estado de las investigaciones arqueológicas en el Uruguay*: Montevideo, CEA Publicaciones (3), 57–61.
- 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, 403–16.
- Serrano, A., 1933, *Las culturas protohistóricas del Este Argentino y Uruguay*: Memorias del Museo de Paraná, 7, 9–43.
- Serrano, A., 1936, *Etnografía de la antigua provincia del Uruguay*: Argentina, Talleres Gráficos Paraná, 207 p.
- Serrano, A., 1972, *Líneas fundamentales de la Arqueología del Litoral (una tentativa de periodización)*: Córdoba, Publicaciones de la Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Antropología XXXII, 79 p.
- Shaw, J., Walton, D., Yang, S., Rolph, T.C., Share, J.A., 1996, Microwave archaeointensities from Peruvian ceramics: *Geophysical Journal International*, 124, 241–4.
- Shepard, A., 1954, *Ceramics for the archaeologist*: Washington, D.C, Carnegie Institution of Washington, Publication 609, 447 p.
- Thellier, E., Thellier, O., 1959, Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique: *Annals of Geophysics*, 15, 285–376.