



## ESTUDIOS DE MAGNETISMO AMBIENTAL Y MINERALÓGICOS EN SEDIMENTOS LACUSTRES Y FLUVIALES DE ANTÁRTIDA

Ana M. Barrios<sup>1\*</sup>, Marcos A. E. Chaparro<sup>2</sup>, Araceli Lavat<sup>3</sup>, Karina L. Lecomte<sup>4</sup>, Francisco E. Córdoba<sup>5</sup>, Juan M. Lirio<sup>6</sup>, Mauro A. E. Chaparro<sup>7</sup>, José D. Gargiulo<sup>2</sup>, Harald N. Böhnelt<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Granada, España.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-UNCPBA), Tandil, Argentina.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-UNCPBA), Olavarría, Argentina.

<sup>4</sup> Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), CONICET y Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

<sup>5</sup> Centro de Investigación y Transferencia de Jujuy (CIT-Jujuy) – CONICET, UNJu, Instituto de Geología y Minería, San Salvador de Jujuy, Argentina.

<sup>6</sup> Instituto Antártico Argentino (IAA), Buenos Aires, Argentina.

<sup>7</sup> Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales UNMDP, Mar del Plata, Argentina.

<sup>8</sup> Centro de Geociencias (UNAM), Querétaro, México.

\* e-mail: [anambrs@gmail.com](mailto:anambrs@gmail.com)

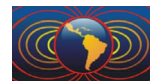
### ABSTRACT

This study focuses on magnetic characteristics of river and lake sediments from James Ross Archipelago, located in the northeast of the Antarctic Peninsula. The analyzed magnetic parameters were particularly obtained from measurements of magnetic susceptibility, magnetic hysteresis, anhysteretic and isothermal remanent magnetization. Additionally, complementary studies of X-ray diffraction (XRD) and FTIR spectroscopy were performed so as to the mineralogical characterization of the sediments. The magnetic parameters analyzed in this study show changes in the magnetic mineralogy of sediments depending on their depth. In lake Buena (James Ross island), increased concentration of ferrimagnetic minerals (magnetite) is accompanied by the presence of very fine magnetic grains, and minerals such as hematite or greigite, identified by magnetic, XRD and FTIR studies. Previous studies discussed the possibility of physical and chemical processes (linked to erosion, evaporation, and Red-Ox reactions) and biological processes (linked to algal and bacterial respiration activity) in lakes from James Ross and Vega islands, which would generate high values of water's pH (alkaline). Results show a dominant ferrimagnetic (magnetite) component in these sediments, and a magnetic contribution of at least one component that is due to the presence of: a) antiferromagnetic minerals (hematite/goethite), b) ferrimagnetic minerals (iron sulfides) and c) a bio-induced component (biogenic magnetite).

**Keywords:** Environmental magnetism, X-ray diffraction, Infrared spectroscopy, Sediments, Biogenic magnetite, Antarctic Peninsula.

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudian las características y parámetros magnéticos de los sedimentos de río y lagunas de las islas James Ross y Vega, localizadas en el Archipiélago James Ross (NE Península Antártica). Los parámetros magnéticos que se analizaron se obtuvieron de mediciones de susceptibilidad magnética, histéresis magnética y magnetización remanente anhistérica e isotérmica. Asimismo, se realizaron estudios complementarios para la caracterización mineralógica de los sedimentos utilizando técnicas de difracción



por rayos X (DRX) y espectroscopía infrarroja FTIR.

Los parámetros magnéticos muestran cambios significativos en la mineralogía magnética dependiendo de la profundidad de los sedimentos en cada testigo. En la laguna Buena (Isla James Ross), el incremento en concentración de minerales ferrimagnéticos (magnetita) es acompañado por la presencia de granos magnéticos muy finos, y minerales del tipo hematita o greigita, identificados a partir de los estudios magnéticos, de DRX y FTIR.

Estudios previos discuten la posibilidad de que estén ocurriendo procesos físico-químicos (vinculados a procesos de erosión, evaporación, y reacciones Red-Ox) y biológicos (vinculados a la respiración de las algas y la actividad bacteriana) en el interior de las lagunas de las islas James Ross y Vega, los cuales estarían generando valores altos de pH (alcalinos).

Los resultados obtenidos señalan una componente ferrimagnética (magnetita) dominante en los sedimentos, y una contribución magnética de, al menos, una componente que se debería a la presencia de: a) minerales antiferromagnéticos (hematita/goethita), b) minerales ferrimagnéticos (sulfuros de hierro) y c) una componente bio-inducida (magnetita biogénica).

**Palabras clave:** Magnetismo Ambiental, Difracción de rayos X, Espectroscopía infrarroja, Sedimentos, Magnetita biogénica, Península Antártica.

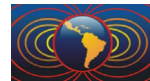
## Introducción

Los sedimentos de los sistemas acuáticos (ríos y lagunas) están constituidos por diferentes fracciones que incluyen minerales producto de la meteorización física y química de las rocas de la cuenca de drenaje, minerales precipitados desde la columna de agua, material biológico, sustancias orgánicas y partículas formadas *in situ* en el medio sedimentario, como óxidos e hidróxidos de hierro (Cohen, 2003). Así, las características magnéticas de los sedimentos depositados en las lagunas dependen de múltiples factores (litologías de la cuenca, alteración de minerales pre-existentes, actividad biológica, entre otros). De este modo, el estudio de los registros sedimentarios lacustres y, en particular, de sus características magnéticas, puede dar información útil sobre el medio de sedimentación y los distintos factores y procesos actuantes (físicos, químicos y biológicos) que tienen lugar en estos sistemas.

En el continente antártico, la presencia de ecosistemas lacustres prístinos, no afectados directamente por las actividades humanas (agricultura, industria, deforestación, etc.), ofrece una oportunidad única para estudiar la respuesta de los mismos a cambios a escala regional o global. Además añade interés el que la Península Antártica es una de las regiones de más rápido calentamiento de la Tierra, y que los estudios de magnetismo de sedimentos lacustres en esta región son escasos (Chaparro *et al.*, 2014). En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir del estudio de diferentes parámetros magnéticos y estudios complementarios (DRX y FTIR) en sedimentos lacustres y fluviales del Archipiélago James Ross (NE de la Península Antártica) con la finalidad de investigar las propiedades de los minerales magnéticos en estos ambientes y su comportamiento.

## Métodos

Los testigos de sedimentos estudiados fueron extraídos durante las campañas antárticas de verano (CAV) del 2007, 2012, 2013 y 2014. Se obtuvieron testigos de ~1 m de longitud y 7 cm de diámetro del Río Verde y la laguna Buena (63°57'56.00''S - 57°54'22.60''O) y Kate (64°1'25.5''S - 57°43'3.6''O) en la Isla James Ross, y Anónima (63°49'20.96''S - 57°19'30.86''O) y Esmeralda (63°53'8.31''S - 57°34'21.81''O) en la Isla Vega. En total se estudiaron 270 muestras de sedimentos. Las mediciones magnéticas se realizaron en el laboratorio de Magnetismo Ambiental y Paleomagnetismo del CIFICEN en Tandil (Argentina) y en el laboratorio del Centro de Geociencias de Querétaro (México). Se realizaron determinaciones de susceptibilidad magnética



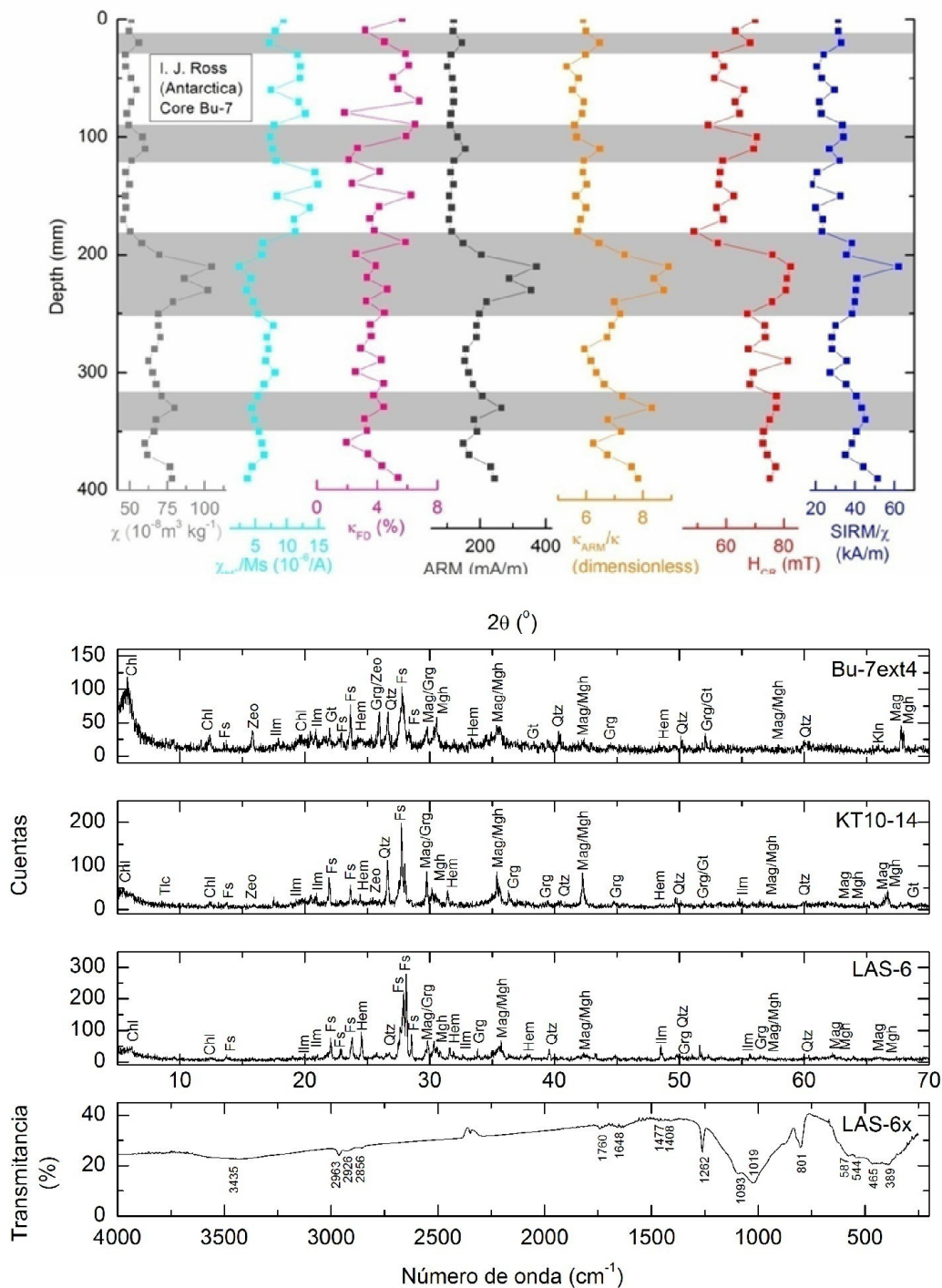
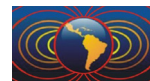
(volumétrica  $\kappa$  y específica  $\chi$ ), histéresis magnética, magnetización remanente anhistérica (ARM, con sus siglas en inglés) y magnetización remanente isotérmica (IRM, por sus siglas en inglés). Para ello se utilizaron los siguientes equipos: a) susceptibilímetro Bartington Instruments, modelo MS2; b) magnetómetro MicroMagTM 2900 Alternating Gradient Magnetometer, Princeton Measurements Corporation; c) un equipo opcional pMRA de un desmagnetizador por campos alternos Molspin; d) magnetizador de pulso AC Scientific model IM-10-30 y un magnetómetro rotativo Minispin, Molspin; e) magnetómetro rotativo Minispin, Molspin Ltd. Se realizaron, además, mediciones de DRX sobre 16 muestras, y FTIR sobre 10 muestras de sedimentos lacustres y fluviales, respectivamente, en el Laboratorio de Ingeniería Química del CIFICEN en Olavarría (Argentina). El análisis de DRX se realizó en un difractor Philips PW 3710, con ánodo de Cu y monocromador de grafito, utilizando radiación de  $\lambda=1,5405\text{Å}$ . Se realizó un barrido de difracción en el intervalo de ángulos  $2\theta$  entre  $5^\circ$  y  $70^\circ$ , con una velocidad de barrido de  $0.5^\circ/\text{min}$ . El análisis de FTIR se realizó en un espectrómetro por transformada de Fourier marca Nicolet Magna 550 con óptica de CsI. La fuente utilizada fue Mid-Far IR ( $9600\text{-}50\text{ cm}^{-1}$ ), el divisor de haz de CsI y el detector es DTGS CsI.

### Resultados y discusión

Los valores de susceptibilidad específica para los distintos testigos indican que hay variaciones en la concentración de minerales ferromagnéticos con la profundidad que podrían estar asociados con la composición de los sedimentos. Si bien estos minerales dominan la señal magnética, la matriz siliciclástica en las muestras analizadas está formada, principalmente, por cuarzo, feldespatos y en menor medida zeolitas, caolinita y talco.

La susceptibilidad específica podría indicar que diferentes procesos físico-químicos o biológicos están ocurriendo en la Laguna Buena, ya que los valores de  $\chi$  (mediana =  $60.3\text{-}82.3 \times 10^{-8}\text{ m}^3/\text{kg}$ ) son sensiblemente mayores que los del Río Verde (mediana =  $46.0\text{-}46.6 \times 10^{-8}\text{ m}^3/\text{kg}$ ), que es su único aporte de material clástico desde la cuenca. Los valores de susceptibilidad dependiente de la frecuencia  $\kappa_{\text{FD}}\%$  (1.9-3.6%) indicarían cierta presencia de granos SP. Los valores de ARM dependen de la concentración y tamaño de los granos magnéticos, mientras que el cociente de susceptibilidad anhistérica y susceptibilidad magnética ( $\kappa_{\text{ARM}}/\kappa$ ) está relacionado con granos ferrimagnéticos finos. Por lo tanto, valores más altos de estos parámetros indicarían la presencia de granos ultrafinos ( $\sim 0.1\text{ }\mu\text{m}$  o menores) en las secuencias estudiadas (Fig. 1). La coercitividad de remanencia ( $H_{\text{cr}}$ ) y el cociente SIRM/ $\chi$  se relacionan con la mineralogía magnética; valores más altos de estos parámetros indican una coercitividad más dura como puede observarse en el testigo Bu-7 (Fig. 1). De acuerdo a los valores reportados por Peters y Dekkers (2003), los resultados encontrados indicarían la presencia de minerales ferrimagnéticos y antiferromagnéticos.

Los estudios de DRX y FTIR (Fig. 1) corroboran que los minerales identificados con las técnicas de magnetismo (ARM, IRM y termomagnéticos) están presentes en los sedimentos. Entre los minerales ferrimagnéticos/antiferromagnéticos identificados a partir de estos estudios aparecen óxidos de Fe (i.e., magnetita, maghemita, hematita y goethita) y además un sulfuro de Fe (greigita). Este último es un mineral que se lo ha caracterizado como precursor a la formación de pirita autigénica en sedimentos lacustres (Jelinowska *et al.* 1995). En estas lagunas, tanto los valores alcalinos de pH ( $\sim 9$ ) junto con la baja concentración química de las aguas y una alta actividad biológica, permitirían inferir un origen biogeoquímico para la magnetita (Chaparro *et al.*, 2014). En ese sentido, Roberts *et al.* (2011) explican la formación de framboides de pirita en ambientes marinos y/o lacustres a partir de actividad bacteriana. A bajas temperaturas, como las presentes en las regiones polares, la nucleación y crecimiento temprano de la pirita se explicaría por la progresiva conversión desde el monosulfuro de hierro, termodinámicamente inestable, a greigita. Además, a partir del estudio FTIR, se observa la presencia de materia orgánica en extractos de magnetita en los sedimentos de algunas lagunas (Anónima y Buena).



**Figura 1.** (Arriba) Parámetros magnéticos del testigo Bu-7 (laguna Buena). (Abajo) DRX y FTIR de muestras de lagunas Buena (Bu-7ext-4), Kate (KT-10-14) y Anónima (LAS-6). Nomenclatura DRX: Mag: magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Mgh: maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), Hem: hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), Gt: goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), Grg: Greigita ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ), Ilm: ilmenita, Qtz: cuarzo, Fs: feldespatos, Chl: clorita, Zeo: zeolita, Tlc: talco, Kln: caolinita. Grupos en FTIR, arcillas (número de onda  $\sim 3430 \text{ cm}^{-1}$ ), materia orgánica (número de onda  $\sim 2960 - 2860 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 1200 \text{ cm}^{-1}$ ), material siliciclástico (número de onda  $\sim 1020 \text{ cm}^{-1}$ ), óxidos de hierro (número de onda  $\sim 650 - 500 \text{ cm}^{-1}$ ), sulfuros de hierro (número de onda  $\sim 450 \text{ cm}^{-1}$ ).



### **Comentarios finales**

A partir de los estudios complementarios de DRX y FTIR, se prueba la presencia de óxidos y sulfuros de hierro previamente identificados por Chaparro *et al.* (2014). Además se infiere que ocurren importantes procesos biogeoquímicos en el interior de las lagunas que deben ser estudiados con más detalle. En ese sentido, la presencia de granos magnéticos ultrafinos ( $\sim 0.1 \mu\text{m}$  o menores) junto a las características fuertemente alcalinas del agua de las lagunas, la presencia de materia orgánica en extractos magnéticos y la importante actividad biológica que presentan estos ecosistemas, permitiría proponer un origen biogénico para la magnetita identificada en los registros sedimentarios.

### **Reconocimientos**

A las instituciones involucradas: UNCPBA, IAA-DNA, Núcleo INMAT y CONICET. Este trabajo se realizó bajo el apoyo financiero de ANPCYT, PICT-2010-0096.

### **Referencias**

- Chaparro, M. A. E., Gargiulo, José D., Irurzun, M. A., Chaparro, M. A. E., Lecomte, K. L., Böhnelt, H. N., Córdoba, F. E., Vignoni, P. A., Manograsso Czalbowski, N. T., Lirio, J. M., Nowaczyk, N. R., Sinito A. M., 2014. El uso de parámetros magnéticos en estudios paleolimnológicos en Antártida. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 21 (2), 87-105.
- Cohen, A. S., 2003. *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, Oxford, USA, 350 p.
- Jelinowska, A., Tucholka, P., Gasse, F., Fontes, J. C., 1995. Minerals magnetic record of environmental in Late Pleistocene and Holocene sediments, Lake Manas, Xinjiang, China. *Geophysical Research Letters*, 22 (8), 953-956.
- Peters, C., Dekkers, M., 2003. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy concentration and grain size. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 659-667.
- Roberts, A. P., Chang, L., Rowan, C. J., Chong-Shern, H., Florindo, F., 2011. Magnetic Properties of Sedimentary Greigite ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ): an update. *Reviews of Geophysics*, 49, RG1002.