



## ESTUDIOS PALEOMAGNÉTICOS Y DE MAGNETISMO DE ROCAS EN EL AFLORAMIENTO EL CHIMBORAZO (SAN LUIS, ARGENTINA): RESULTADOS PRELIMINARES

C. Gogorza<sup>1\*</sup>, M.A. Irurzun<sup>1</sup>, G. Heider<sup>2</sup>, A. Gogichaishvili<sup>3</sup>, G. Ojeda<sup>1</sup>, J. Chiesa<sup>4</sup>, C. Greco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN), CONICET - UNCPBA – CICPBA, Tandil, Argentina.

<sup>2</sup> CONICET-CCT San Luis, Departamento de Geología-Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

<sup>3</sup> Servicio Arqueomagnético Nacional, UNAM, Morelia, México.

<sup>4</sup> Departamento de Geología-Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina

\*e-mail: [claudiagogorza65@gmail.com](mailto:claudiagogorza65@gmail.com)

### ABSTRACT

In this work we present the preliminary results of rock magnetic and paleomagnetic studies performed at the El Chimborazo outcrop located in the semi-arid west in San Luis province (Argentina). Rock magnetic data suggests that the magnetic signal is carried by “soft” magnetic minerals like magnetite, and a low proportion of “hard” magnetic minerals, like hematite. Low field magnetic susceptibility that is used as a magnetic concentration parameter shows a variation of about two along the profile. Magnetic grain size is quite uniform, and it varies between 4 y 8  $\mu\text{m}$ . Progressive demagnetization experiments of the natural remanent magnetization show stable behavior and well-preserved directions. These results encourage us to conduct more experimental research, and will let us obtain the first paleosecular variation curve for the area.

**Keywords:** Rock magnetism, paleomagnetism, magnetic minerals, South American Arid Diagonal

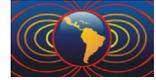
### RESUMEN

En este trabajo se presentan los primeros avances realizados en los estudios de magnetismo de rocas y paleomagnéticos de las investigaciones realizadas en el afloramiento El Chimborazo localizado en el occidente semi-árido de la provincia de San Luis (Argentina). Los estudios muestran que la mineralogía magnética está compuesta por minerales magnéticamente “blandos” tipo magnetita, con una baja proporción de minerales magnéticamente “duros”, tipo hematita. La susceptibilidad magnética es usada como un parámetro representativo de la concentración y varía un factor dos a lo largo del perfil. El tamaño de grano magnético no presenta grandes cambios, variando entre 4 y 8  $\mu\text{m}$ . Los análisis de la desmagnetización progresiva de la magnetización remanente natural muestran un registro estable con direcciones bien preservadas. Estos resultados nos alientan a continuar las investigaciones y nos permitirán obtener los primeros datos de variaciones paleoseculares para el área.

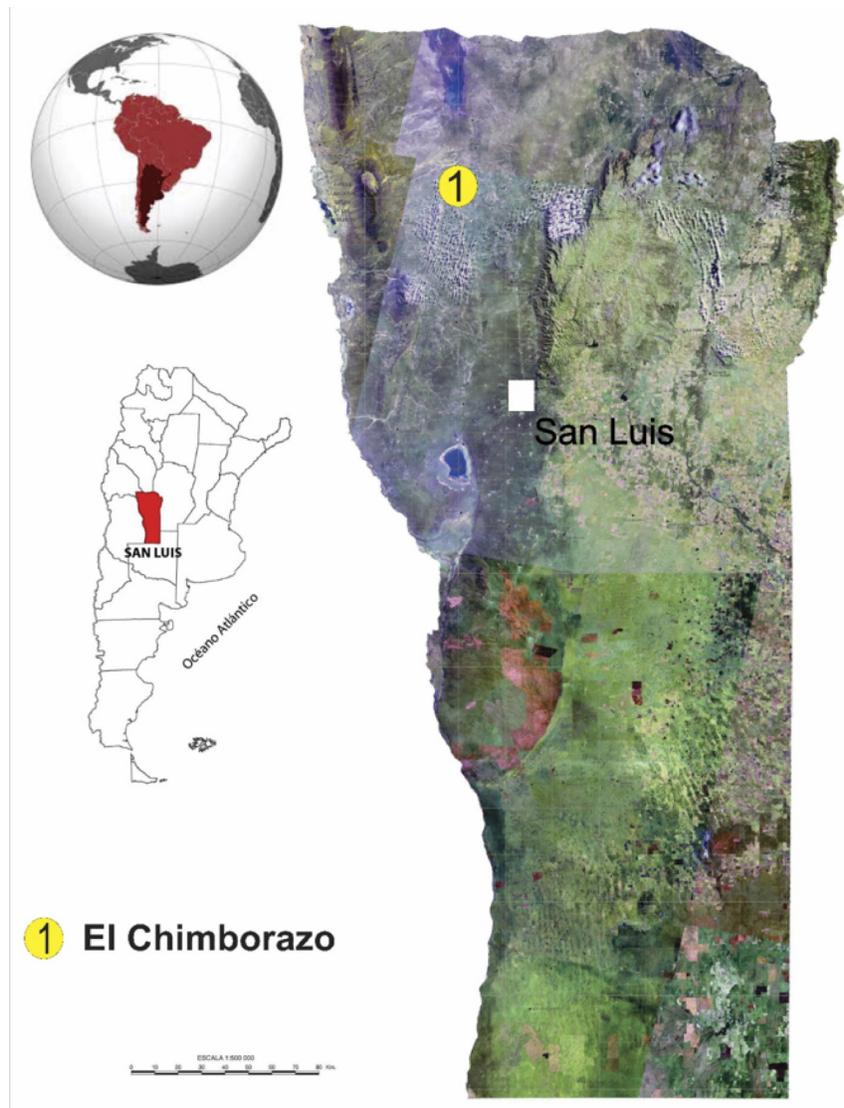
**Palabras Clave:** Magnetismo de rocas, paleomagnetismo, minerales magnéticos, Diagonal Árida Sudamericana

### 1. Introducción

En el noroccidente semi-árido de la provincia de San Luis (Fig. 1) se iniciaron, en el año 2017, una serie de trabajos multidisciplinarios cuyos resultados preliminares se presentan en este resumen. La región, ubicado al oriente de la Diagonal Árida Sudamericana, es comúnmente conocido como “Travesía” debido a sus condiciones climáticas rigurosas, lo cual dificultó el tránsito de los primeros europeos que ocuparon el centro de Argentina (Heider *et al.* 2019). Las investigaciones arqueológicas fueron inicialmente abordadas por Milciades Alejo Vignati en la primera mitad del siglo XX, sin realizarse nuevos estudios hasta el presente (Heider y Curtoni, 2016). En ese marco, el registro arqueológico de la zona fue caracterizado como perteneciente a los pueblos originarios “Olongastas” o “Culturas Riojanas”, destacándose la presencia de



“Hornillos o Tinajas” de tierra cocida como principal elemento material del registro arqueológico (Heider *et al.*, 2018). En ese contexto, se ha dado comienzo a una serie de trabajos, los cuales incluyen estudios de geoarqueología (Waters, 1992), arqueología distribucional y paleomagnetismo.



**Figura 1.** Sitio de estudio, señalando la ubicación de la provincia de San Luis y del afloramiento El Chimborazo.

## 2. Sitio de Estudio

Los trabajos se llevaron a cabo en el afloramiento El Chimborazo localizado al noroccidente de la provincia de San Luis (Argentina) (Fig. 1). El área circundante al lugar comprende parte del piedemonte oriental de las Serranías Occidentales a la latitud de la sierra de Las Quijadas. Estas serranías están constituidas por una serie de elevaciones bajas que se extienden en forma casi continua con dirección NNO desde la sierra de La Huerta ( $32^{\circ} 40'$ ) en la provincia de San Juan hasta la latitud de  $34^{\circ}$  (Costa *et al.*, 1999) (Fig. 1). El relieve de las sierras Las Quijadas y de Cantantal, ubicada un poco más al norte, responde a geformas asociadas a plegamientos de rocas mesozoicas por efecto de la evolución tectónica durante el Paleógeno, que estuvo caracterizada por la reversión de un régimen dominante extensional que condujo a un acortamiento generalizado de toda la región, en consonancia con los episodios tectónicos en progreso en el orógeno andino (Costa *et al.*, 1999).

El perfil fue identificado en el cauce del Arroyo Los Hornos, presenta rasgos de discontinuidad en su trazado



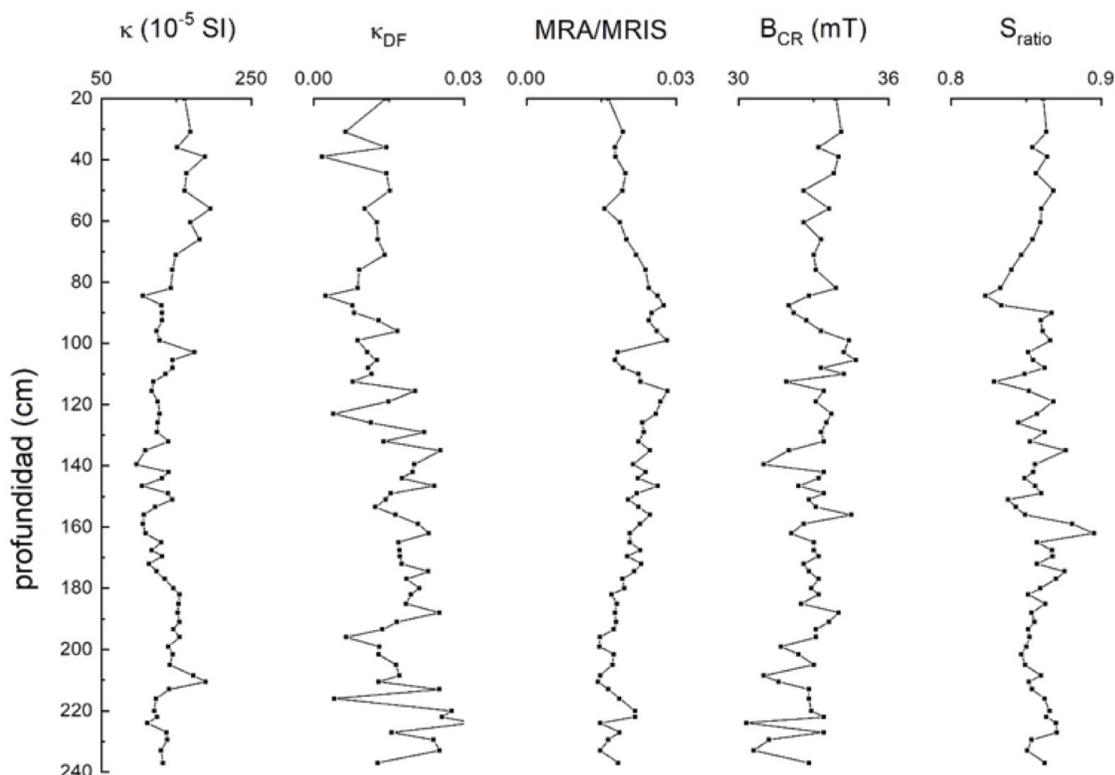
que fueron identificados como Corrientes Efimeras Discontinuas (CED) (Candia 2015). Como menciona Bull (1997), las CED tienen una secuencia repetitiva (intervalos de 15 m a 10 km) de degradación-agregación: los cortes de cabeceras (cárcavas) concentran el flujo, un canal troncal transporta el agua al vértice de un abanico, los canales de distribución trenzados terminan en un área de flujo de hojas divergentes y luego un flujo de hojas convergente drena a los cortes de las cabeceras. Este proceso es un ajuste de los cursos a una modificación en la dinámica fluvial asociada a una baja del nivel de base, cambio climático y/o acciones antrópicas (Bull 1997).

### 3. Métodos

En una campaña realizada en 2017, se colectaron 66 muestras que consisten en cajas plásticas de 8 cm<sup>3</sup> en El Chimborazo. Los estudios paleomagnéticos y de magnetismo de rocas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo Ambiental en el CIFICEN (Tandil, Argentina). Las mediciones de susceptibilidad magnética ( $k$ ) se realizaron en alta ( $\kappa_{hf}$ ) y baja frecuencia ( $\kappa_{lf}$ ) (470 Hz y 4700 Hz) utilizando un susceptibilímetro Bartington MS2. A partir de estas dos mediciones se calculó el parámetro dependiente de la frecuencia ( $\kappa_{FD}$ ), que da una medida de la contribución de granos superparamagnéticos (SP) en las muestras ( $\kappa_{FD} = (\kappa_{lf} - \kappa_{hf})/\kappa_{lf}$ ). Para determinar la intensidad y dirección de la magnetización remanente natural (MRN) se utilizó un Magnetómetro JR6A (Agico Ltd.) y la estabilidad de la MRN se analizó mediante la desmagnetización por campos alternos con valores de campo crecientes, con un Desmagnetizador Magnético Molspin. En un grupo de muestras piloto se utilizaron los siguientes pasos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80 y 95 mT. Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar los pasos de desmagnetización a aplicar en el resto de las muestras, las cuales se desmagnetizaron en ocho pasos: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 y 50 mT. Con estos datos se determinaron los valores de declinación  $D$ , e inclinación  $I$  de la magnetización remanente estable mediante análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980). La magnetización remanente anhística (MRA) fue aplicada a lo largo del eje  $z$ -positivo de las muestras con un campo magnético alterno decreciente (AF, por sus siglas en inglés) y superpuesto un campo magnético continuo de 0.09 mT. La magnetización remanente isotérmica (MRI) fue adquirida exponiendo la muestra a campos crecientes hasta 1.2 T donde alcanza la saturación (MRIS), luego se aplicaron campos en reversa cada vez mayores hasta cancelar la remanencia con la finalidad de obtener el valor del campo coercitivo de la remanencia ( $B_{CR}$ ), utilizando un magnetizador de pulso IM-10-30 (ASC Scientific). MRA e MRI fueron medidas usando un Magnetómetro Rotativo JR6A (Agico). El  $S_{ratio}$  fue calculado como  $MRI_{-300mT}/MRIS$  según Thompson (1986). Finalmente, se calcularon los cocientes interparámetros MRIS/ $\kappa$  y MRA/MRIS para discriminar tamaños de grano magnético en las muestras (King y Channell, 1991).

### 4. Resultados

A partir de los análisis de magnetismo de rocas se busca caracterizar los minerales magnéticos presentes en los sedimentos a partir de la mineralogía, la distribución de tamaño de grano y la abundancia de las mismas. En primer lugar, analizamos las variaciones de  $k$  con el objetivo de obtener información acerca de las variaciones de la concentración de los minerales magnéticos presentes (*sensu lato*).  $k$  muestra pequeñas oscilaciones alrededor de un valor medio de  $138 \times 10^{-5}$ , con una variabilidad entre  $\sim 96 \times 10^{-5}$  y  $195 \times 10^{-5}$ . Teniendo en cuenta la uniformidad en la mineralogía magnética, es posible estimar la abundancia relativa de granos de dominio simple (DS) analizando las variaciones del cociente MRA/MRIS. Este cociente varía entre 0.014 y 0.028, mostrando pequeñas oscilaciones superpuestas a una leve tendencia ascendente, desde la base hasta los 115.5 cm donde se observa una notoria disminución de este cociente, lo que se asociaría a un notorio aumento de tamaño de grano (Fig. 2). Luego aumenta bruscamente y a partir de ahí, el cociente muestra una tendencia decreciente hacia el tope del afloramiento, asociado a un leve aumento en el tamaño de grano. BCR varía entre 30 y 35 mT, alrededor de un valor medio de  $\sim 33$  mT, estos valores están asociados a la presencia de minerales magnéticamente “blandos” tipo magnetita (Peters and Dekkers, 2003). Esto último es apoyado por los resultados de las variaciones de  $S_{ratio}$ , el cual varía entre 0.87 y 0.94, alrededor de

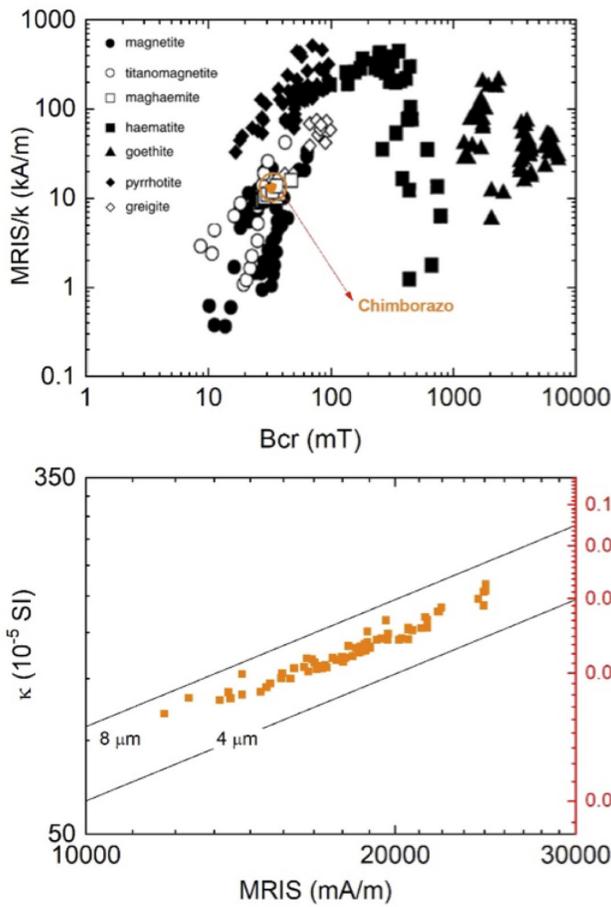
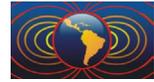


**Figura 2.** Variaciones magnéticas de la columna sedimentaria del afloramiento El Chimborazo: susceptibilidad magnética ( $k$ ),  $k_{DF}$ , MRA/MRIS,  $B_{CR}$  y  $S_{ratio}$ .

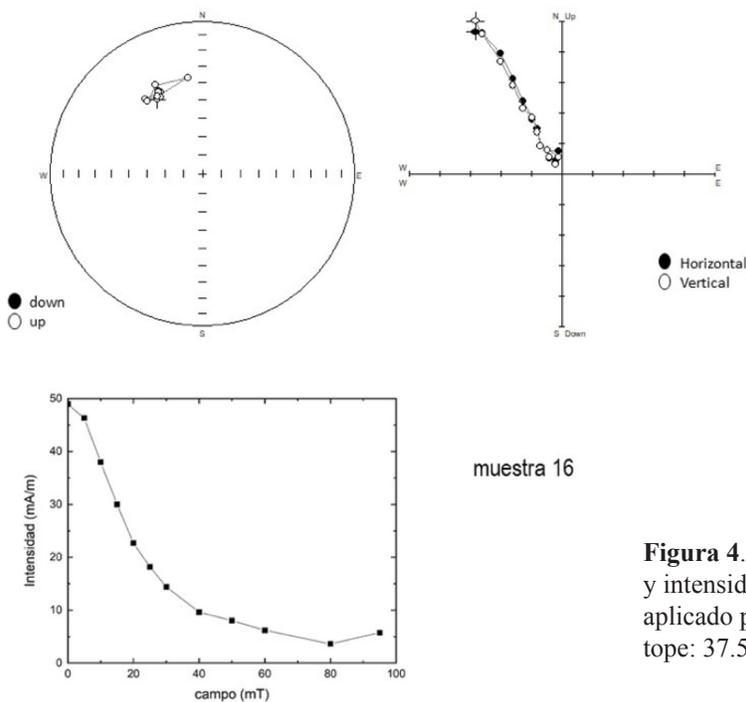
un valor medio de 0.91, lo que implica una mineralogía asociado a minerales tipo magnetita con una muy baja proporción de minerales, tipo hematita (Anderson and Rippey, 1988).

Otro estudio utilizado para dilucidar la mineralogía magnética presente en las muestras es el gráfico de MRIS/ $k$  vs.  $B_{CR}$  (Peters y Dekkers, 2003) (Fig. 3.a). A partir del mismo pudo determinarse que la remanencia en la totalidad de las muestras es portada por materiales magnéticamente “blandos” (titano)magnetita y/o maghemita. A partir de la uniformidad en la mineralogía magnética y en el hecho que, fundamentalmente se trata de (titano)magnetita, puede analizarse la concentración y el tamaño de grano magnético a partir del gráfico de  $k$  vs. MRIS (Thompson y Oldfield, 1986). La Fig. 3.b muestra los resultados de  $k$  versus MRIS, puede observarse que el tamaño de grano magnético de las muestras está entre 4 y 8  $\mu\text{m}$  y la concentración varía entre 0.03 y 0.07 %.

El proceso de desmagnetización consistió en someter a la muestra, orientada en distintas direcciones, a la acción de campos magnéticos alternos decrecientes, en sucesivas etapas de campo crecientes. La Fig. 4 muestra los diagramas estereográficos (de las direcciones) y cartesianos (de la intensidad) del magnetismo remanente luego de cada etapa de desmagnetización para una muestra tipo (muestra 16), así como la representación en un Diagrama de Zijderveld. Todas las muestras tienen un comportamiento magnético similar al de la muestra 16: las direcciones se observan agrupadas y el diagrama cartesiano se puede ajustar mediante una recta que puede extrapolarse al origen, (Fig. 4). Esto da idea de una magnetización mono-componente.



**Figura 3.** Propiedades magnéticas de los sedimentos del afloramiento El Chimborazo. (a) Variación del cociente de la MRIS y la susceptibilidad, MRIS/ $\kappa$ , versus el campo coercitivo de la remanencia, Bcr y (b)  $\kappa$  vs. MRIS.



**Figura 4.** Gráficos estereográfico, de Zijderveld y intensidad de la MRN en función del campo aplicado para la muestra 16 (ubicación desde el tope: 37.5 cm)



## Conclusiones

En este trabajo se presenta una serie de estudios de magnetismo de rocas y de estabilidad de la remanencia magnética llevados a cabo en muestras del perfil sedimentario El Chimborazo localizado en la provincia de San Luis (Argentina). Las propiedades magnéticas mostraron tener poca variación en las muestras analizadas, fundamentalmente en la mineralogía y tamaño de grano de los minerales magnéticos. Se determinó que (titano)magnetita es el portador magnético principal con presencia de hematita en bajas proporciones. El tamaño de grano y la concentración magnética varía entre 4 y los 8  $\mu\text{m}$  y entre 0.03 y 0.07 %, respectivamente. Estos estudios se complementan con estudios estratigráficos, sedimentológicos, arqueológicos y geomorfológicos que se encuentran en marcha.

## Agradecimientos

Los trabajos fueron realizados en el marco de los proyectos PIP 112-200801-01161 - Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina (CONICET – Argentina) y Programa REDES VII del Ministerio de Educación - Secretaría de Políticas Universitarias. A. Gogichaishvili agradece el apoyo financiero de los proyectos UNAM-DGAPA-PAPIIT IN101717 y CONACYT n.º 252149. Los autores agradecen al Sr. Pablo Zubeldía por su ayuda en la realización de las mediciones, a la familia Atensio por permitir el ingreso a los sitios de estudio y a los pueblos originarios por su apoyo.

## Referencias

- Anderson, N.J., Rippey, B., 1988. Diagenesis of magnetic minerals in the recent sediments of a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 33 (6, part 2), 1476-1492.
- Bartington Instruments Ltd, 1994. Environmental Magnetic Susceptibility-Using the Bartington MS2, 2016 System, Operation Manual. Witney, U. K., pp. 54.
- Bull, W. B., 1997. Discontinuous ephemeral streams. *Geomorphology* 19, 227-276.
- Candia, D., 2015. Geomorfología del piedemonte Nororiental de la sierra de Las Quijadas. Provincia de San Luis. Tesis de licenciatura. Inédita. UNSL. 154 pp.
- Costa, C., Gardini, C., Ortiz Suárez, A., Chiesa, J., Ojeda, G., Rivarola, D., Strasser, E., Morla, P., Ulacco, J., Tognelli, G., Carugno Durán, A., Vinciguerra, H., Sales, D. 1999. Hoja Geológica 3366-II, San Francisco del Monte de Oro. Provincias de San Luis, Mendoza y San Juan. Convenio UNSL-SEGEMAR. SEGEMAR, Boletín 293.
- Heider G., Curtoni, R., 2016. Investigaciones arqueológicas en la Provincia de San Luis: a 150 años de sus inicios, historia y perspectivas. *Revista del Museo de Antropología* 9 (1), 35-48.
- Heider G., A. Gogichaishvili, C. Greco, C. Gogorza, A. Irurzun, G. Ojeda, Chiesa, J., 2018. Estudios geoarqueológicos en el sector semi-árido occidental de la provincia de San Luis. VII Congreso Nacional de Arqueometría. San Miguel de Tucumán, Tucumán. pp. 336-337.
- Heider, G., E. Jobbágy, Tripaldi, A., 2019. Uso del espacio semiárido por poblaciones prehispánicas: El papel de los paisajes de dunas como eco-refugios en el Centro de Argentina. *Revista Mexicana de Geología, Volumen Especial Geoarqueología* 71 (2), 229-248.
- King, J.W., Channell, J.E.T., 1991. Sedimentary magnetism, environmental magnetism, and magnetostratigraphy. *Rev. Geophys. Suppl.* 29, 358-370.
- Kirschvink, J.L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Int.* 62, 699-718.
- Peters, C., Dekkers, M.J., 2003. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size. *Phys. Chem. Earth* 28, 659-667.
- Thompson, R., 1986. Palaeomagnetic dating, in Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology, edited by B. E. Berglund, pp. 313-327, Wiley, Chichester, U. K.
- Thompson, R., Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*. Allen & Unwin Ltd, 225 p.
- Waters, R., 1992. *Principles of Geoarchaeology*, Tucson, University of Arizona Press.