



ISSN: 2007-9656

LATINMAG LETTERS

November 2016- Volume 6 - Number 6
LL16-06-06Rs

RESEARCH PAPER

Published on behalf of the Latin American Association of Paleomagnetism and Geomagnetism by the Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

Estudio Magneto Bioestratigráfico Piloto del Yacimiento de Diatomitas de Sayula, Jalisco, México

Ma. de Jesús Sánchez González, Juan Julio Morales
Isabel Israde Alcántara, Avto Goguitchaichvili

10 pages, 7 figures

Latinmag Letters can be viewed and copied free of charge at:
<http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/>

Papers contents can be reproduced meanwhile the source is cited



Estudio Magneto Bioestratigráfico Piloto del Yacimiento de Diatomitas de Sayula, Jalisco, México

Ma. de Jesús Sánchez-González^{1*}, Juan Julio Morales³, Isabel Israde Alcántara², Avto Goguitchaichvili³

¹ Doctorado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad de México, México.

² Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (INICIT), UMSNH, Morelia, Michoacán, México.

³ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), Unidad Michoacán del Instituto Geofísica, UNAM, Campus Morelia, Michoacán, México.

*Corresponding autor e-mail: chuyitas@gmail.com

Recibido: 15 Agosto 2016; Aceptado: 21 Noviembre 2016; Publicado: Noviembre 2016

Abstract. Preliminary results of a multiproxy study, gathering geochemical and sedimentological indicators with magnetic properties, analyzed in a sequence of ~2 m height of a diatomite deposit of Sayula, Jalisco (eastern border of the Chapala Acambay Graben), corresponding to the late Neogene - Quaternary (~5-4.83 Ma Cal BP) are presented. The omnipresence of centric diatoms, mostly *Stephanodiscus sp.*, indicates the existence of a deep lake with large forest development, soil maturation and a large supply of organic matter; confirming that the accumulation of the mineralogical fraction in the lake correlates inversely to the vegetation cover, although there are some exceptional periods where this relationship is not fulfilled.

Key words: *Magnetic properties, Sayula, Diatomite, Neogene, lacustrine sediments.*

Resumen. Se presentan los resultados preliminares de un estudio *multiproxy*, integrando indicadores geoquímicos y sedimentológicos con propiedades magnéticas analizadas en una secuencia de ~2 m, de un depósito de diatomitas de Sayula, Jalisco, en el límite oriental del graben de Chapala Acambay, correspondiente al Neógeno tardío - Cuaternario (~5-4.83 Ma. Cal. AP). A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, y con base en la presencia predominante de diatomeas de formas *centrales*, con abundancia casi mono específica de *Stephanodiscus sp.* –indicadoras de ambientes de gran profundidad–, se infiere un lago profundo con amplio desarrollo de bosques y maduración de suelo y gran aporte de materia orgánica, confirmando que la acumulación de la fracción mineralógica en el lago se encuentra en relación inversa con la extensión de la cobertura vegetal del entorno, aunque existen algunos periodos excepcionales donde no se cumple dicha relación.

Palabras Clave: *Propiedades magnéticas; Sayula; Diatomita; Neógeno; Sedimentos lacustres.*

1. Introducción

El estudio de las propiedades magnéticas y sus variaciones temporales en depósitos lacustres permite deducir cambios paleoambientales. El magnetismo remanente natural registrado en una roca o sedimento lacustre, depende de los minerales ferromagnéticos *s.l.* incluidos en una matriz de minerales diamagnéticos y paramagnéticos. Las técnicas magnéticas de rocas y minerales del magnetismo ambiental, se utilizan para investigar la formación, transporte, deposición y alteraciones postdeposicionales de minerales magnéticos bajo la influencia de una amplia gama de procesos ambientales. Todos los materiales responden de manera diferente a un campo magnético aplicado, y los óxidos de hierro son sensibles a una serie de procesos ambientales, lo que hace que las mediciones magnéticas sean altamente útiles para la detección de señales



asociadas con los procesos ambientales. El presente trabajo se enfoca en el estudio de la parte oriental del Lago de Chapala, Jalisco, en el sitio Sayula (Celite). El objetivo principal es estudiar los sedimentos lacustres desde el punto de vista de las propiedades magnéticas con el apoyo de datos bioestratigráficos, geoquímicos, sedimentológicos y de propiedades físicas, así como su interpretación en términos de reconstrucción paleoambiental y de variaciones climáticas y/o ambientales para el Neógeno.

2. Zona y Material de Estudio

La región forma parte del graben de Acambay, localizado en el centro occidente de México, desde los márgenes occidentales del lago de Chapala, en Jalisco, atravesando toda la parte Norte del estado de Michoacán hasta la parte Centro Norte del Estado de México. Su basamento está conformado por una secuencia de rocas volcánicas del Eoceno (Quintero-Legorreta, 2002), cuyos depósitos volcánicos llegan hasta el Cuaternario. El Graben Chapala está constituido por distintos sistemas de fallas de dirección E-O, y el volcanismo fue originado por procesos de subducción y de fragmentación continental. Dentro del graben se formó un lago profundo en donde la actividad volcánica aportó los iones de sílice requeridos para producir espesores de más de 50 metros de diatomitas laminares, manteniendo activo un lago durante el Neógeno-Cuaternario. El sitio de Sayula está ubicado en el margen Oeste del Lago de Chapala, Jalisco, $20^{\circ}18'22.23''$ N y $103^{\circ}40'16.31''$ O a 1415 msnm (Fig. 1) y corresponde con un depósito de diatomita blanca laminar, altamente deformada y deleznable. Se extrajo una columna, de manera manual, haciendo un corte de aproximadamente 20 cm de ancho por 35 cm de largo, hasta completar 2 metros de la base del depósito.

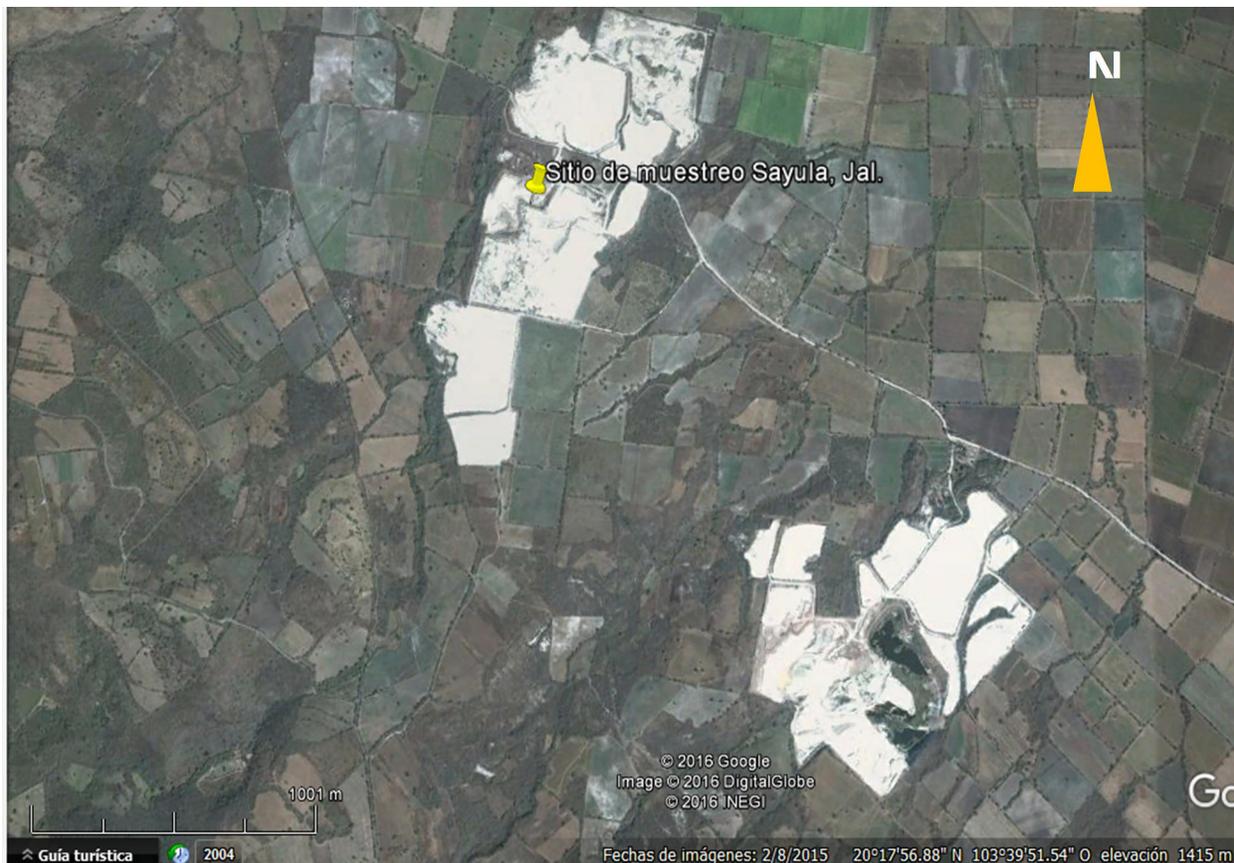


Figura 1. Sitio de muestreo Sayula, Jalisco



3. Mediciones Magnéticas

La columna de 2 m se sub-muestreó cada 2.2 cm, de la base a la cima, en cubos de acrílico de 8 cm³ obteniéndose 84 muestras. Las muestras se estudiaron y caracterizaron desde el punto de vista magnético con mediciones de susceptibilidad magnética (κ), magnetización remanente natural (NRM, de sus siglas en inglés), magnetización remanente anhistérica (ARM, de sus siglas en inglés) y magnetización remanente isothermal (IRM, de sus siglas en inglés). (Figs. 2a -2d).

La susceptibilidad magnética en baja (klf, 0.465 kHz) y alta frecuencia (khf, 4.65 kHz) de las muestras discretas (cubos de 8 cm³) se midió por medio de un susceptibilímetro Bartington MS2B. Asimismo se midió la susceptibilidad magnética con el equipo AGICO MFK-B, que trabaja a una sola frecuencia (972 Hz), como medio de verificación. La intensidad de la magnetización en los diferentes procesos que se describen a continuación, fue medida utilizando un magnetómetro de giro AGICO JR-6 (Dual Speed Spinner Magnetometer). La ARM se indujo en las muestras impartiendo, en 3 ejes ortogonales, un campo pico de corriente alterna (AC, de sus siglas en inglés) de 100 mT y uno de corriente directa (DC, de sus siglas en inglés) de 50 μ T, utilizando el equipo LDA-3 trabajando en modo de magnetizador.

Asimismo, por medio de un magnetizador de pulsos IM-10 (ASC Scientific) se indujo una IRM al someter a las muestras a una serie de pulsos de DC que se incrementaron paulatinamente, en etapas de 25, 50, 75, 100, 200, 300, 500 y 700 mT. Una vez alcanzado el campo máximo aplicable se impartió un campo inverso de 300 mT. A partir de estos valores se calculó el cociente S_{-300} . Previamente a la obtención de la IRM se llevó a cabo una desmagnetización total empleando un campo magnético de 100 mT en un desmagnetizador LDA-3 (Fig. 2e).

A partir de las determinaciones anteriores fueron calculados los cocientes inter paramétricos asociados siguientes: S-ratio ($IRM_{-300}/SIRM$), $SIRM/k$, ARM/k y $ARM/SIRM$) (Kirschvink, 1980).

4. Identificación de Diatomeas

La columna de 2 m se sub-muestreó cada 10 cm, obteniéndose 20 muestras que debido a su alta pureza, no requirieron el procesamiento con peróxido de hidrogeno al 30 % y ácido clorhídrico. Se realizó el montaje directamente usando un portaobjetos y un cubreobjetos por muestra, usando una resina con alto índice de refracción (náfrax) para poder llevar a cabo la fotografía. El conteo e identificación de diatomeas se realizó con un microscopio óptico OLYMPUS Modelo DP12 a 1000x y bibliografía especializada (Fourtanier y Gasse, 1988; Khursevich, *et al.*, 2002, 2003; Khursevich y Kociolek, 2012; Serieyssol y Gasse, 1991).

5. Resultados

5.1 Susceptibilidad magnética (κ)

Se observan variaciones de κ (-4.8×10^{-7} a 5.3×10^{-6}) a partir del registro de susceptibilidad magnética contra la altura (Fig. 3a), las cuales pueden interpretarse como variaciones en: (i) la concentración de minerales magnéticos, (ii) la mineralogía magnética o, (iii) en ambas. Se aprecian también varios valores máximos a diferentes alturas, encontrándose el mayor de estos a los 158.4 cm, los cuales coinciden con los niveles estratigráficos más oscuros del depósito, asociados presumiblemente con aportes detríticos por

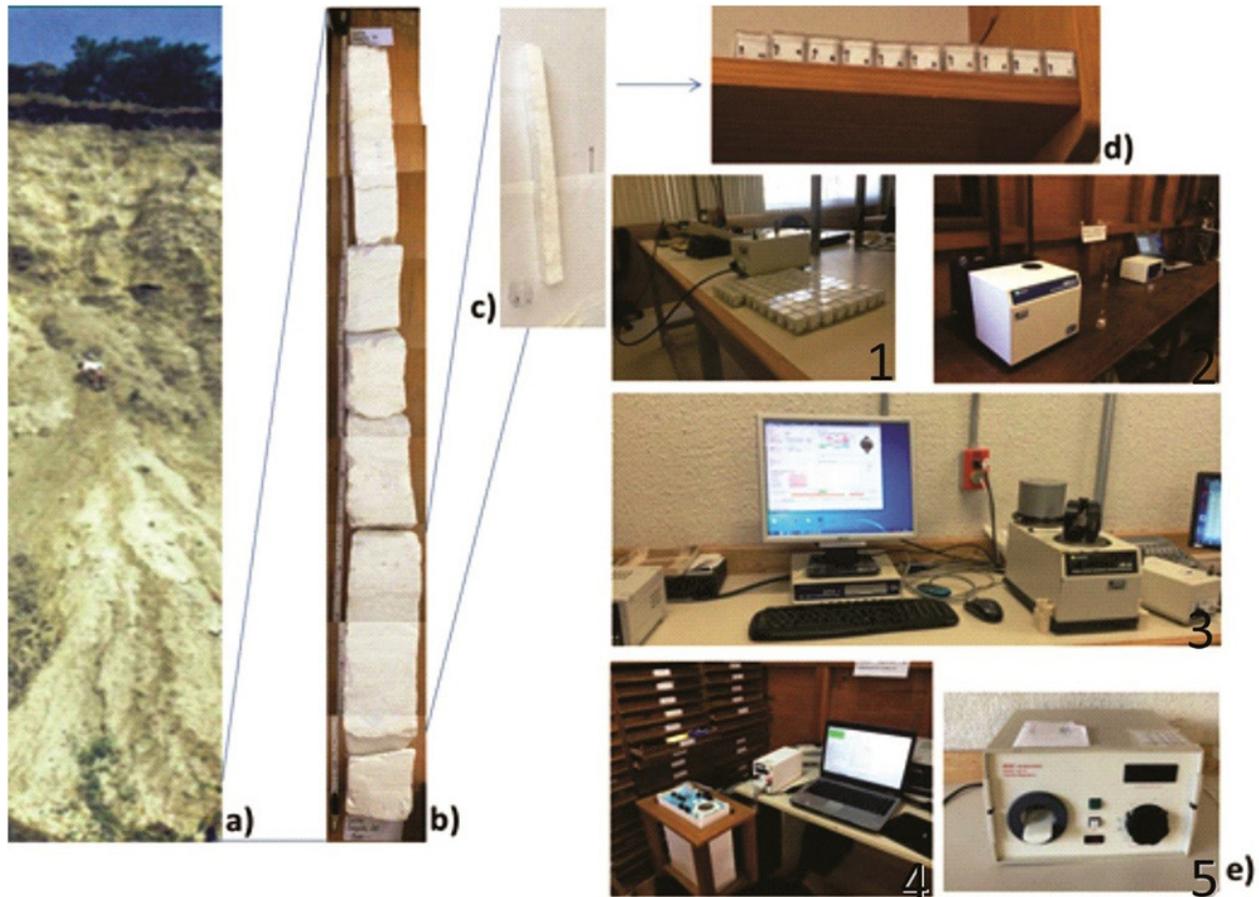


Figura 2. **a)** Vista general del depósito Celite en Sayula, Jal. **b)** Secuencia de 2m correspondiente a la base del depósito y objeto a estudio. **c)** Sub muestreo. **d)** Muestras en cubos de 8 cm³. **e)** Equipos utilizados: **1-** Susceptibilímetro Bartington MS2B, **2-** Susceptibilímetro AGICO MFK-B, **3-** Magnetómetro de giro JR-6, **4-** Desmagnetizador de campos alternos LDA-3, **5-** Magnetizador de pulsos IM-10⁻³⁰ (ASC Scientific).

erosión, o bien debidos a la presencia de depósitos de caída de ceniza volcánica.

5.2 Magnetización Natural Remanente (NRM)

Los sedimentos lacustres presentan una magnetización significativamente más baja (0 10^{-5} A/m) que las rocas volcánicas (10^{-1} - 10^0 A/m), de acuerdo con el registro de la NRM por medio del magnetómetro de giro JRA-6 (sensibilidad 10^{-6} A/m). Es posible también apreciar cierta variabilidad en la NRM (Fig. 3b), asemejándose en ciertos intervalos al correspondiente para el registro de κ . Sin embargo, algunos valores máximos de NRM no se correlacionan con los de valores máximos correspondientes de κ para todo el depósito, sugiriendo posibles variaciones en la mineralogía magnética o en el tamaño de grano.

5.3 Magnetización Remanente Anhistérica (ARM)

Este registro es el que muestra menor variabilidad (Fig. 3c), con un valor promedio de 1.9×10^{-5} A/m y valores máximos de $(2.1$ y $1.6) \times 10^{-4}$ A/m a 22.0 cm y 37.4 cm, respectivamente. Tanto la κ como la ARM dependen de la concentración y tamaño de los granos magnéticos, pero ésta última es más sensible a los granos ferrimagnéticos finos. Por lo que un valor promedio bajo de la ARM sugiere una predominancia de

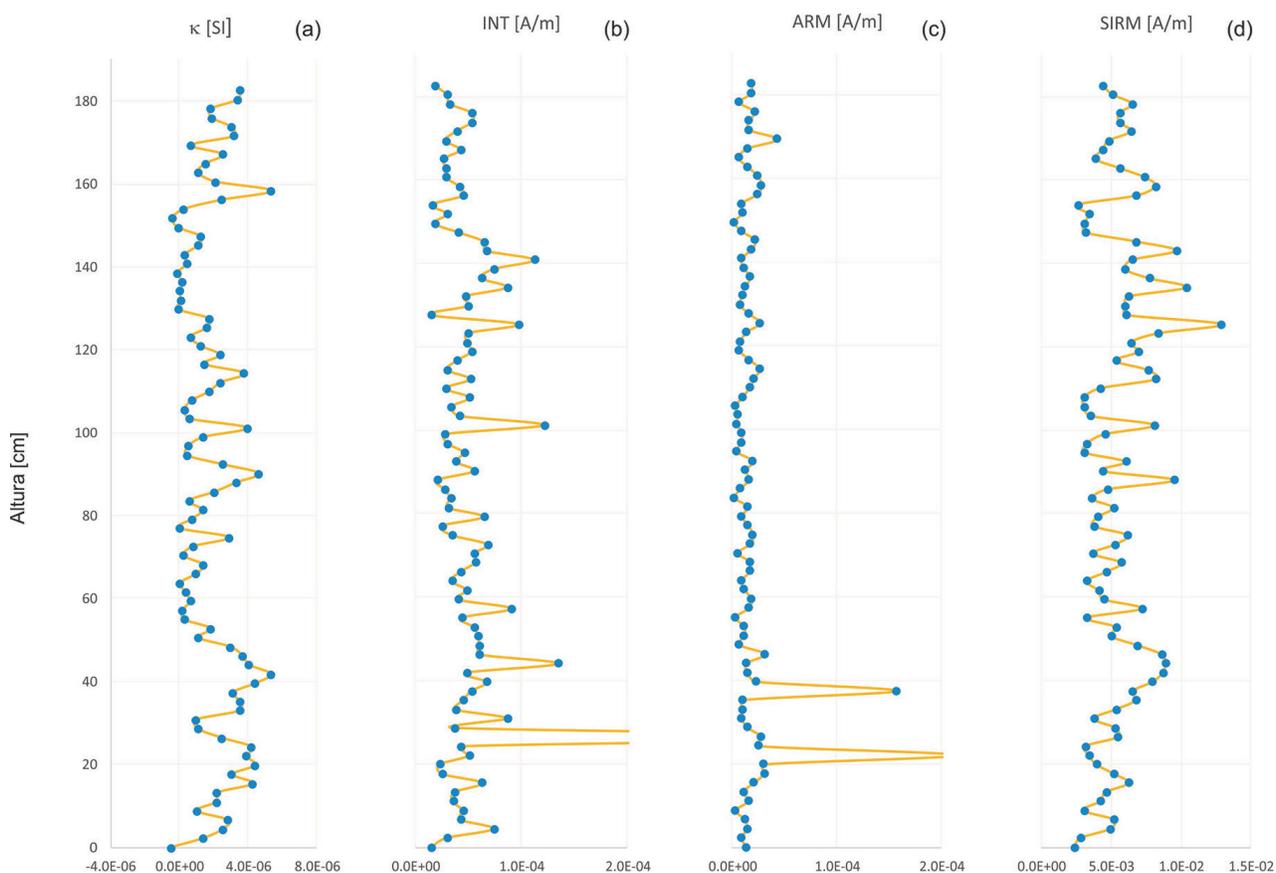


Figura 3. Registros verticales de diferentes parámetros dependientes de la concentración.

mineralogía con tamaño de grano más grueso, de origen detrítico.

5.4 Magnetización Remanente Isotermal (IRM)

En contraste con el registro anterior, este registro presenta la mayor variabilidad (Fig. 3.d). Existe una diferencia de 2 órdenes de magnitud entre los valores de ARM y SIRM. Ya que la IRM depende de la concentración y tipo de minerales ferrimagnéticos presentes, la diferencia de 2 órdenes de magnitud mostrada podría explicarse en términos de diferencias en concentración más que en términos de diferencias en la mineralogía magnética.

En la Figura 4 se puede observar una curva representativa de las muestras estudiadas, en la cual es posible apreciar que la saturación se alcanza en campos cercanos a los 300 mT; lo cual indica que las muestras están gobernadas por minerales magnéticamente blandos (ferrimagnéticos), muy probablemente titanomagnetita. En general, las gráficas son muy similares en cuanto a la forma para todas las muestras y no hay diferencias contrastantes apreciables.

5.5 Parámetro S

El registro del cociente inter paramétrico S_{-300} muestra pequeñas variaciones cercanas a 1 (Fig. 5.a), confirmando el resultado obtenido a partir del registro de la SIRM, ya que al efectuar el cociente entre la SIRM y la IRM-300 se elimina la dependencia con la concentración de la IRM.

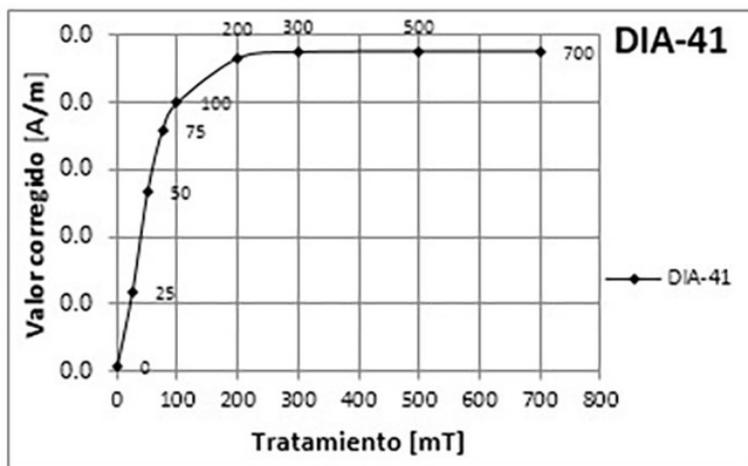


Figura 4. Curva representativa de adquisición de IRM, correspondiente a la muestra DIA-41 (88 cm de profundidad) del sitio Sayula.

5.6 ARM/SIRM

Tanto la ARM, como la SIRM, son dependientes de la concentración. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, mientras que la ARM es más sensible a la mineralogía fina, la IRM lo es a los granos más gruesos. Los valores notoriamente bajos del cociente ARM/SIRM a lo largo del registro vertical (Fig. 5b) sugieren nuevamente, la predominancia de mineralogía magnética gruesa, compatible con material detrítico. Se identifican, sin embargo, dos valores máximos a los 22.0 cm y 37.4 cm, los cuales son compatibles con la caída de material particulado fino.

5.7. ARM/ κ y SIRM/ κ

Los registros de estos dos cocientes inter paramétricos muestran, al menos, dos estratos con alta variabilidad, ubicados en los intervalos entre los 57.2 cm y 77.0 cm y entre los 129.8 cm y 154.0 cm (Figs. 5.c y 5.d). Al tener ambos cocientes un denominador común (normalizados por la κ), que depende principalmente de la concentración y de la mineralogía magnética y, por ser sensibles a diferentes tamaños de grano, una explicación basada exclusivamente en términos de concentración, mineralogía y tamaño de grano resulta difícil de considerar. Podría alternativamente pensarse en un factor externo, no contemplado aún, dando como resultado un cambio en el estado de stress del depósito sedimentario.

5.8. Observaciones al microscopio

No fue necesario el procesamiento con peróxido de hidrogeno (al 30 %) y ácido clorhídrico del material recolectado debido a la alta pureza de la diatomita. De acuerdo con la observación de las diatomeas en las muestras del sitio, se identificaron 10 especies, dominando las formas centrales: *Stephanodiscus* y *Cyclostephanus* que alcanzan abundancias de hasta 6000 valvas por transecto (Figs. 6.a, 6.b y 7). Esto indica que se trata de un sitio con comunidades casi monoespecíficas, que nos sugiere el establecimiento de un lago profundo, con escasa presencia de formas pennales, algunas espículas de esponja y algunas especies re-trabajadas en ciertos estratos que muestran evidencias de bioturbación (intervalo de 57.2 cm a 85.8 cm). El listado completo de las especies que conforman el depósito se encuentra en la Tabla 1.

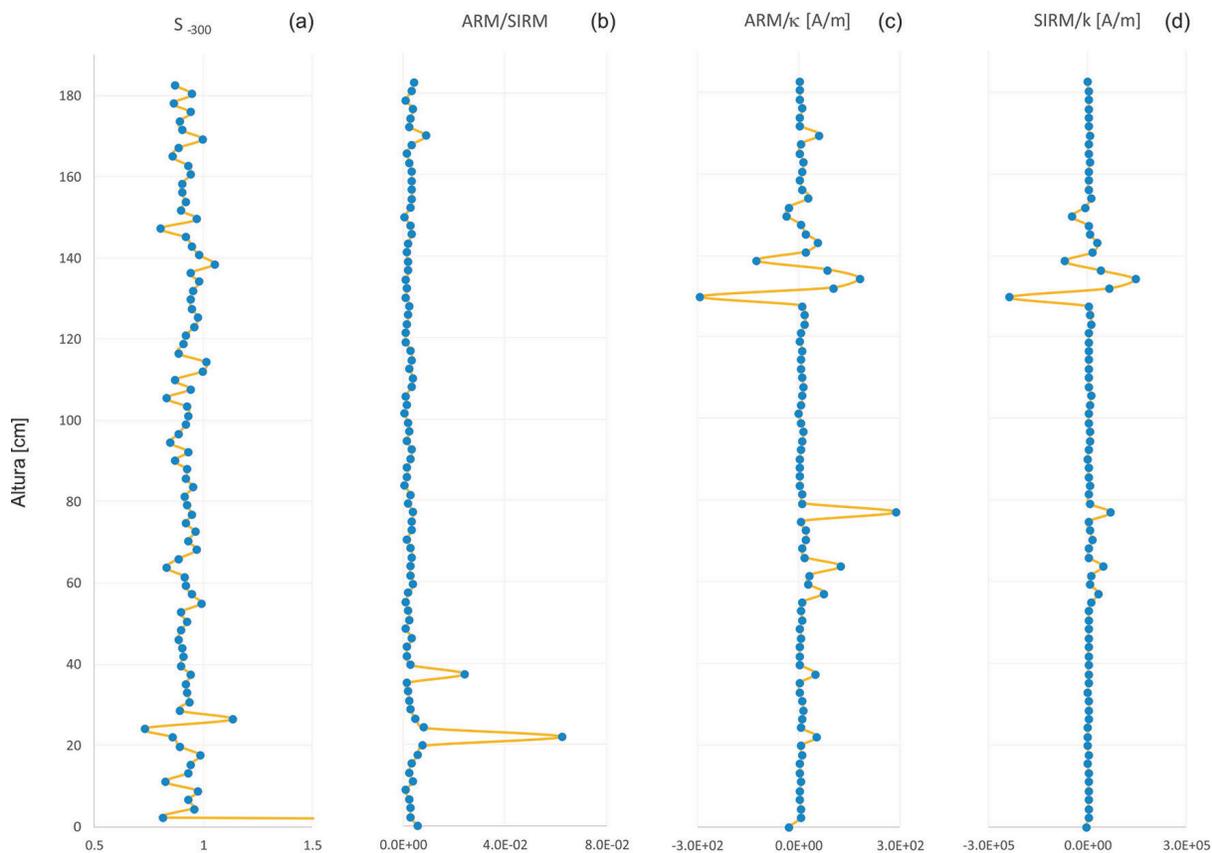


Figura 5. Registros verticales de diferentes cocientes inter paramétricos

6. Discusión y comentarios finales

En sedimentos lacustres suele existir una fracción que corresponde a minerales magnéticos. De éstos, una gran parte ha sido transportada del entorno de la cuenca, y pueden estar asociados con aportes detríticos por erosión o con la presencia de cenizas volcánicas. Por tal motivo, las variaciones en la concentración de los minerales magnéticos pueden reflejar los cambios en el régimen de erosión del entorno, relacionado de manera directa con los cambios ambientales.

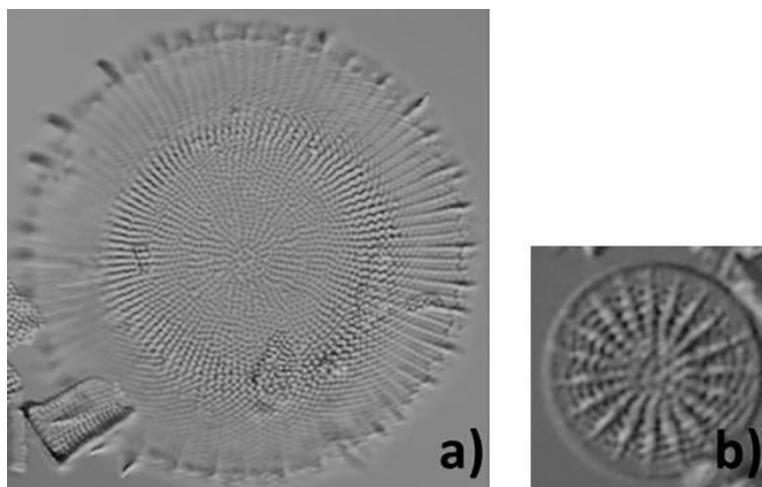
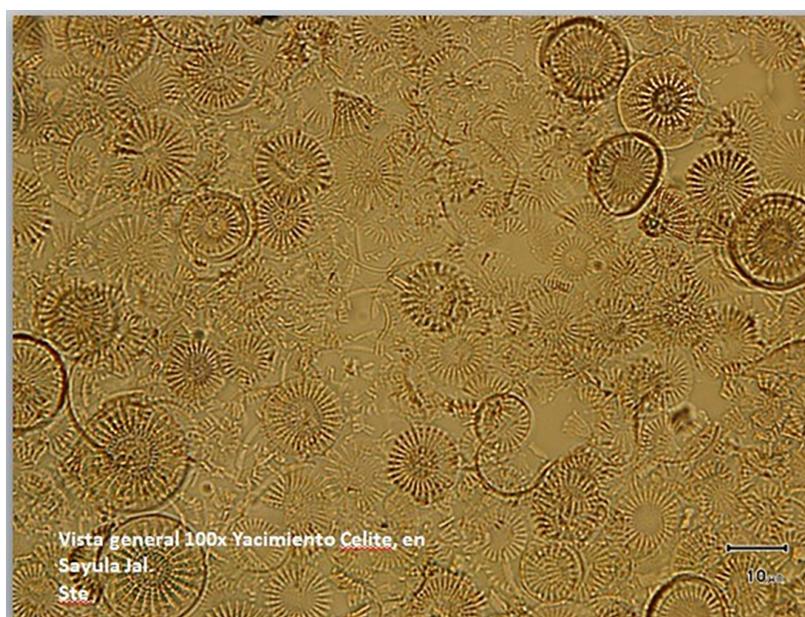


Figura 6. a) *Stephanodiscus sp.* y b) *Cyclostephanus sp.*

**Tabla 1.** Listado de diatomeas identificadas en el sitio Sayula, Jal.

	ESPECIE
1	Cyclostephanos (Posible nueva especie)
2	Cyclotella operculata var. mesoleia
3	Nitzschia palea
4	Rhocoisphenia abbreviata
5	Rhopalodia brebissonni
6	Rophalodia constricta
7	Rophalodia gibba
8	Stephanodiscus aff. aegyptiacus
9	Stephanodiscus (Posible nueva especie)
10	Stephanodiscus aff. medius

**Figura7.** Vista general a 100x del Sitio Sayula, Jalisco.

Varios autores han reportado la relación de la susceptibilidad magnética con cambios climáticos (Hallam *et al.*, 1973; Thompson *et al.*, 1975; Oldfield *et al.*, 1978; Thompson y Morton, 1979; Dearing y Flower, 1982), sugiriendo que cuando existen periodos con pobre desarrollo de una cubierta vegetal, inestabilidad del suelo y soliflucción, los sedimentos en las cuencas de depósito se caracterizan por aumentos en los valores de susceptibilidad magnética. Por el contrario, periodos con amplio desarrollo de bosques y maduración del suelo resultan en valores de susceptibilidad muy bajos.

Los datos obtenidos en este trabajo han dado valores bajos de susceptibilidad magnética y, con base en la presencia de diatomeas de formas centrales predominantes, de una comunidad casi monoespecífica de *Stephanodiscus sp.* (Figs. 6 y 7), indicadoras de ambientes de gran profundidad, se infiere un lago profundo con amplio desarrollo de bosques y maduración de suelo y gran aporte de materia orgánica; con lo que es posible observar que esta relación se conserva, indicando que la acumulación de la fracción mineralógica en el lago se encuentra en relación inversa con la extensión de la cobertura vegetal del entorno, aunque existen algunos periodos excepcionales donde no se mantiene dicha relación.



La variabilidad observada en el registro ARM/ κ para el intervalo comprendido entre los 57.2 cm y 77.0 cm se correlaciona con las evidencias de bioturbación de las observaciones al microscopio para el mismo periodo. Un segundo periodo excepcional localizado entre los 129.8 cm y 154.0 cm, reflejado también en el registro ARM/ κ , podría representar evidencia de un evento de paleo sismicidad de magnitud considerable.

Dados los valores relativamente bajos de κ , aun en los correspondientes a los máximos en el registro, resulta poco fundamentado asociarlos a caídas de ceniza volcánica. Sin embargo, su carácter de material particulado fino, evidente en los registros de ARM y ARM/SIRM a los 22.0 cm y 37.4 cm, podría estar asociado a transporte eólico más que a hídrico.

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio muestran la dificultad de una investigación como la aquí presentada. La pureza de las diatomitas, tanto en contenido de mineralogía magnética como en materia orgánica, susceptible de ser fechada; imposibilitan el empleo de métodos tradicionales de fechamiento, lo cual impide proponer una apropiada correlación profundidad - tiempo y, de esta manera, la proposición de un escenario paleo climático fundamentado mediante este tipo de proxies.

Sin embargo, a pesar de la pequeña fracción de minerales ferrimagnéticos presentes en el depósito sedimentario de diatomitas, queda de manifiesto la alta sensibilidad y resolución de los métodos magnéticos; lo cual abre la posibilidad de una probable correlación magneto-estratigráfica que permita abordar la problemática presentada por estos yacimientos sedimentarios.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo económico del proyecto CONACYT 252149.

Referencias

- Dearing J., Flower R., 1982. The magnetic susceptibility of sedimenting material trapped in Lough Neagh, Northern Ireland, and its erosional significance, *Limnology Oceanography*, 27, 969-975.
- Fourtanier, E., Gasse, F., 1988. Premiers jalons d'une biostratigraphie et evolution des diatomées lacustres du Africa depuis 11 M.a. *Comptes rendus Academie des Sciences Paris* 306 (S11), 1407-1408
- Hallam J., Edwards J., Barnes B. y Stuart K., 1973. The remains of late glacial elk associated with barbed points from High Furlong, near Blackpool, Lancashire, *Proc. Prehist. Soc.*, 39, 100-128.
- Kirschvink, J. L., 1980. The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 62, 699-718.
- Khursevich, G.K., Kocielek, P., Fedeyna, S.A., 2002. A new genus of fossil freshwater diatoms (Bacillariophyta: Stephanodisceae) from the sediments of lake Baikal. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 53 (1), 1-10.
- Khursevich, G.K., Fedeyna, M.I., Kuzmin, M.I., Kabanov, E.B., Williams, D.F., Prokopenko, A.A., 2003. Morphology of new species of new taxa of the class centrophyceae (Bacillariophyta) from the Upper Miocene deposits of Lake Baikal. *Algologia* 12 (3), 305-321.
- Khursevich G., Kocielek P., 2012. A preliminary, worldwide inventory of the extinct, freshwater fossil diatoms from the orders Thalassiosirales, Stephanodiscales, Paraliales, Aulacoseirales, Melosirales, Coscinodiscales, and Biddulphiales. *Nova Hedwigia*, Beiheft 141, 315-364.



- Oldfield F., Dearing J., Thompson R. y Garret-Jones S., 1978. Some magnetic properties of lake sediments and their possible links with erosional rates, *Polskie Archive, Hydrobiologia*, 25, 321-331.
- Quintero-Legorreta O., 2002. Análisis estructural de fallas potencialmente activas, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LV, No. 1, 2002, 1-11
- Serieyssel, K.K., F. Gasse, 1991, Diatomees neogenes du Massif Central Francais: quelques faits biostratigraphiques. -C.R. Acad. Sc. Paris 312 (Serie II): 957-964
- Thompson R., Batterbee R., O'Sullivan P. y Oldfield F., 1975. Magnetic susceptibility of lake sediments, *Limnology and Oceanography*, 20, 687-698.
- Thompson R., Morton D., 1979. Magnetic susceptibility and article size distribution in recent sediments of the Loch Lomond drainage basin, Scotland, *Journal of sedimentary petrology*, 49, 801-812.