



MAGNETISMO DE ROCAS DE UNA SECUENCIA HOLOCENICA EN EL LAGO ETZATLÁN, JALISCO, MÉXICO

G. Vázquez^{1*}, S. Smith², E. Blanco²

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM-Morelia, México.

² Colegio de Michoacán, La Piedad, México.

* e-mail: gvazquez@enesmorelia.unam.mx

ABSTRACT

Lakes are an excellent source of paleoenvironmental and paleoclimatic information, nevertheless, proposed models through the Holocene records, still present contradictions and large hiatuses. The present study was performed in a sedimentary sequence of *ca.* 10,000 years old, analyzed by rock magnetic techniques and physical properties. Lake Etzatlán is placed in the western section of the Transmexican Volcanic Belt (FVT). Sedimentary sequence is characterized by a continuous sedimentation along the time, with massive strata of dark brown-black color, silty-argillaceous grain size and sedimentation rates smaller than 0.2 mm/yr.

Magnetic properties were characterized by using the rock magnetism to determine composition, concentration and magnetic grain size. The lower Holocene presents stability in the magnetic mineral concentrations, while middle Holocene have an alternation in the conditions that produces a large oscillation of middle amplitude with changes in sedimentation conditions. Late Holocene has a great variability on the concentration of magnetic minerals with alternation of large amplitude oscillations of all sequence. All this suggest changes on environmental conditions, associated to sedimentation/erosion intervals in the surrounding area of the lake. Results of environmental magnetism studies in combination with some proxies will allow to understand climatic conditions during cultural development of Mesoamerican groups established on the region of Guachimontones, Jalisco, Mexico.

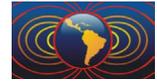
Keywords: Lake sediments, Environmental magnetism, Paleolimnology, Holocene

RESUMEN

Los lagos son una excelente fuente de información paleoambiental y paleoclimática, sin embargo, los modelos propuestos a través de sus registros Holocénicos, aún presentan contradicciones y grandes hiatos en el registro. El presente estudio se realizó en una secuencia sedimentaria de *ca.* 10,000 años de antigüedad, analizada por técnicas de magnetismo de rocas y propiedades físicas. El lago Etzatlán se ubica en la porción occidental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). La secuencia sedimentaria se caracteriza por presentar una sedimentación continua a lo largo del tiempo, con estratos masivos, de tonalidad pardo oscuro a negro, tamaño de grano limo-arcilloso y tasas de sedimentación menores a 0.2 mm/año.

Las propiedades magnéticas fueron caracterizadas mediante el uso de estudios de magnetismo de rocas para determinar la composición, concentración y tamaño de dominio magnético. El Holoceno temprano presenta estabilidad en las concentraciones de minerales magnéticos, mientras que en el Holoceno medio existe alternancia en las condiciones que ocasiona una gran oscilación de amplitud media con cambios en las condiciones de sedimentación. En el Holoceno tardío las condiciones presentan una gran variabilidad en la concentración de minerales magnéticos con alternancia de oscilaciones de mayor amplitud de la secuencia, lo que sugiere cambios en las condiciones ambientales, asociados a intervalos de erosión/sedimentación en los alrededores del lago. El resultado de los estudios de magnetismo ambiental en conjunto con algunos proxies permitirá establecer las condiciones climáticas durante el desarrollo cultural de grupos Mesoamericanos asentados en la región de Guachimontones, Jalisco, México.

Palabras Clave: Sedimentos lacustres, Magnetismo ambiental, Paleolimnología, Holoceno.



Introducción.

Los registros sedimentarios lacustres han demostrado ser una fuente de información paleoclimática de alta resolución, particularmente aquellos lagos donde la sedimentación ha sido continua a lo largo del Cuaternario. México presenta una gran variedad de cuencas lacustres actuales y antiguas, principalmente a lo largo de la FVT, zona de particular interés por su relativa estabilidad en la sedimentación y su papel en el desarrollo de culturas mesoamericanas que permiten dar un contexto social a este tipo de investigaciones.

El magnetismo de rocas es una disciplina que ha tenido auge en los últimos años debido a que relaciona la mineralogía magnética con diversos procesos ambientales en combinación con las características físicas, químicas y biológicas en cuestión (Thompson y Oldfield, 1986, Evans y Heller, 2003). Es por esto que los estudios en sedimentos lacustres requieren de una estrategia multidisciplinaria que combine el uso de diversas metodologías que analicen sus distintos aspectos (Ortega *et al.*, 2006; Lozano-García *et al.*, 2010; Caballero *et al.*, 2002; etc.). En el presente estudio se realiza el análisis de una secuencia sedimentaria del Holoceno del lago Etzatlán, por medio del uso de técnicas de magnetismo de rocas, con el objetivo de caracterizarla por medio de sus propiedades magnéticas y tratar de proveer información de utilidad en la interpretación de las condiciones paleoambientales del lago.

Descripción del sitio.

El lago Etzatlán se localiza dentro del Bloque Jalisco (BJ) (Ferrari, 2000), en la porción occidental de la Provincia Fisiográfica FVT (Fig. 1), a ca. 80 km al oeste de la ciudad de Guadalajara, su altitud es de

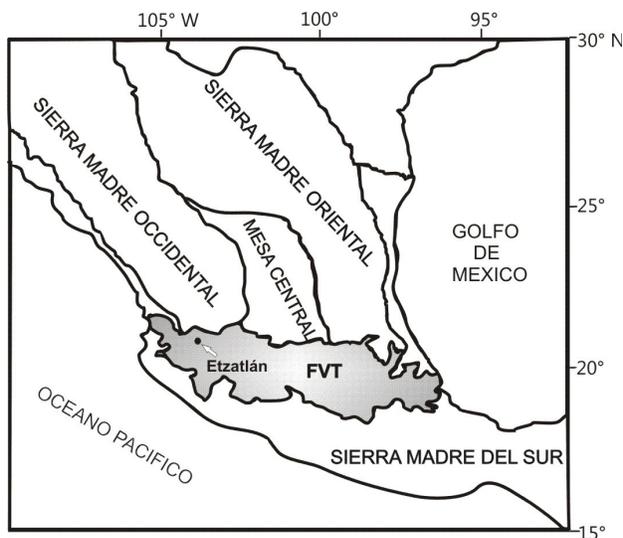


Figura 1. Ubicación del lago Etzatlán, en la región occidental de la FVT, México.

1,367 msnm y se ubica en la zona 13Q, 592,424.34 mE y 2,297,550.74 mN. Su forma es cuadrada con bordes sinuosos de ca. 1 km de longitud. El cuerpo lacustre de Etzatlán se aloja en una cuenca endorreica formada como una trampa natural en la parte baja entre varios aparatos volcánicos y sus depósitos respectivos. El lago es de tipo eutrófico de poca profundidad (< 3m) y el área presenta un clima templado subhúmedo con temperatura media anual de 22° C y periodo de lluvias de junio a agosto.

Metodología.

Se perforaron tres sondeos en la zona central del lago, mediante un sistema manual a base de percusión en tubos reforzados de PVC de 4 pulgadas de diámetro interno, con lo cual se obtuvo una sección maestra de 1.2 m de longitud de

sedimentos continuos. La escala de tiempo para la secuencia ha sido construida a partir de tres fechamientos por ^{14}C AMS (acceleration mass spectrometry), realizados en sedimentos orgánicos a lo largo de la misma. La secuencia maestra fue sub-muestreada para estudios mineralógicos y magnéticos en muestras discretas de 8 cm³. La descripción mineralógica se llevó a cabo mediante un microscopio estereoscópico Olympus SX6045. El muestreo y análisis de propiedades físicas fueron realizados en el laboratorio de Paleoambientes de la ENES Morelia. La determinación de la susceptibilidad magnética se realizó mediante un susceptibilímetro *Bartington* modelo MS3 con sensor para muestras discretas (MS2B), en dos frecuencias distintas. La determinación de la Magnetización Remanente Natural (NRM), anhistérica (ARM) e isothermal (IRM), se realizó mediante el uso de un magnetómetro *Molspin* de giro a baja velocidad, con un límite de



detección de 2.5×10^{-5} [A/m]. Los ciclos de Histéresis y de susceptibilidad magnética a alta temperatura se realizaron en una Balanza de Curie. Todos los experimentos de magnetismo de rocas fueron realizados en el Instituto de Geofísica de la UNAM, unidad Michoacán.

Resultados y Discusión.

La escala de tiempo fue establecida a partir de tres fechamientos realizados por ^{14}C , calibrados a años calendario utilizando el programa Calib 7.0.4 (Stuiver y Reimer, 1993; Stuiver *et al.*, 2005) con la base de datos IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004). De acuerdo con el modelo de edad construido, los sedimentos abarcan *ca.* 10,000 años calibrados AP (8,000 AC). La sedimentación observada es continua a lo largo de toda la secuencia con tasas de sedimentación menores a 0.2 mm/año.

La secuencia sedimentaria se caracteriza por presentar estratos masivos de 10 a 15 cm de espesor, con tonalidades pardo oscuro-negro y tamaño de grano limo-arcilloso. Se han definido dos tipos de facies sedimentarias características, las cuales representan la sucesión de diferentes ambientes a través del tiempo. La mayor parte de estas corresponde a facies detríticas y diferenciadas por el color y en algunas corresponden a turbas.

Los parámetros asociados a la concentración de minerales magnéticos (χ , ARM, SIRM), han permitido una buena separación entre intervalos con características distintivas, lográndose la identificación de tres zonas con comportamientos distintos. La zona inferior presenta relativamente baja concentración de minerales magnéticos, la zona media con una oscilación de amplitud media y la zona superior con gran variabilidad en las concentraciones de minerales magnéticos (Fig. 2).

El diagrama de Day (Dunlop, 2002), indica la presencia de minerales de tipo MD con un poco de dispersión posiblemente indicando una componente SP-SD (Figura 3). Los ciclos de histéresis indican una mezcla de minerales de distintas coercitividades (Figura 4). Los análisis de susceptibilidad *vs.* alta temperatura

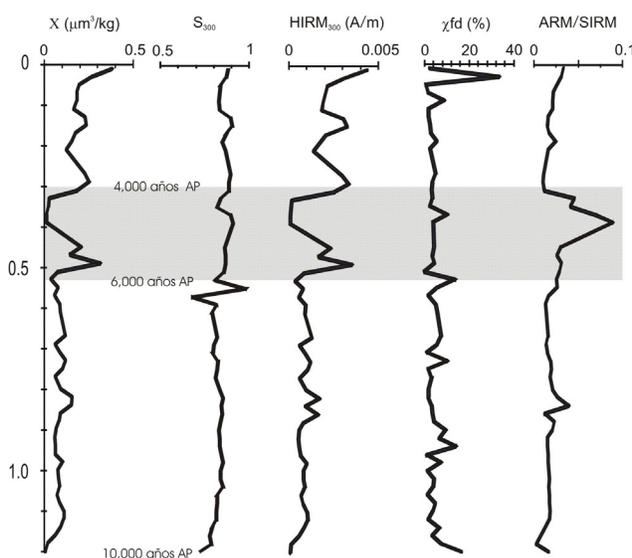


Figura 2. Unidades definidas a partir de los diferentes parámetros de magnetismo de rocas. χ : susceptibilidad magnética, S: cocientes S, Cfd: susceptibilidad dependiente de la frecuencia, ARM: Magnetización Remanente Anhistérica, SIRM: Magnetización Remanente Isotermal de saturación.

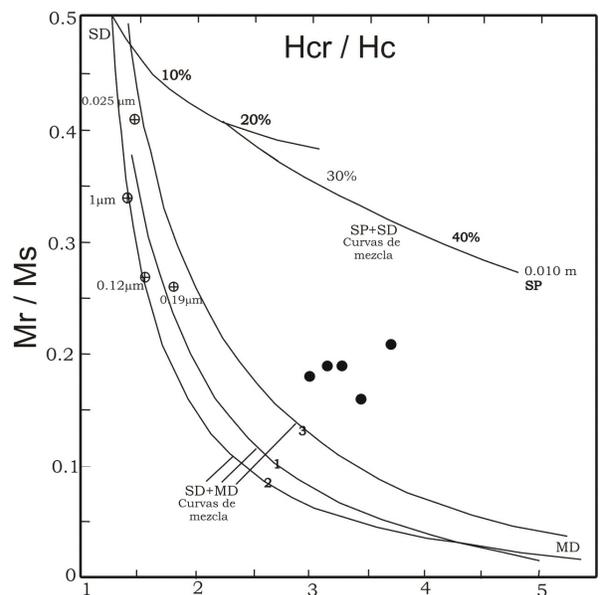


Figura 3. Diagrama de Day (Dunlop, 2002), mostrando el tamaño de dominios magnéticos. Ms: magnetización de saturación, Mr: Magnetización remanente, Hc: coercitividad magnética, Hcr: coercitividad remanente.

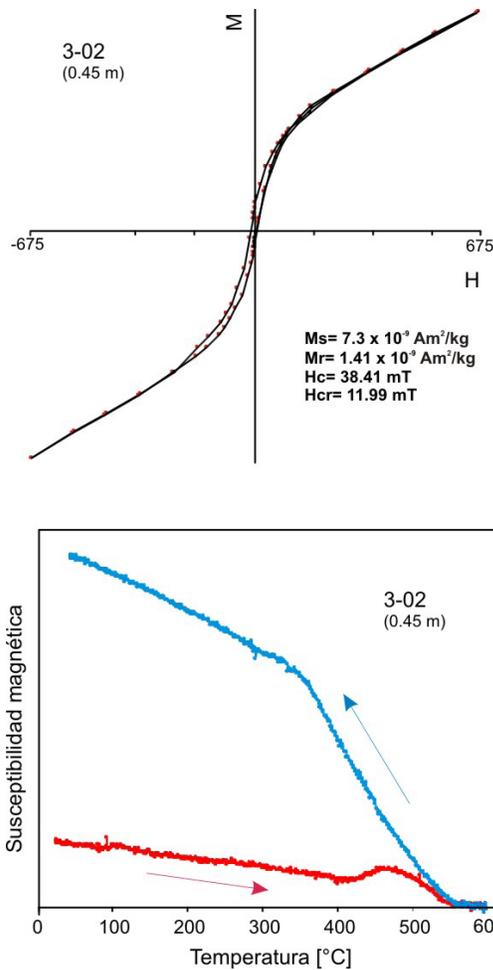
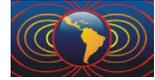


Figura 4. Diagrama de χ vs. alta temperatura con su respectivo ciclo de histéresis, representativo de las muestras analizadas.

el cociente ARM/SIRM presenta valores altos en su cima sugiriendo la presencia de partículas SD o PSD (Fig. 2).

La UM 3 (Holoceno tardío), es la que presenta la mayor variabilidad en las concentraciones, con los mayores valores hacia la cima. En este intervalo se observan los valores más elevados de los cocientes S, lo que sugiere la presencia de minerales suaves; el HIRM, sugiere la presencia de minerales de alta coercitividad en combinación con los suaves. La Xfd sugiere la presencia de partículas SP en la cima de la secuencia y el cociente ARM/SIRM sugiere que hacia la cima aumentan las partículas SD o PSD (Fig. 2).

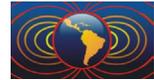
Conclusiones.

El uso de las técnicas de magnetismo de rocas ha permitido la correlación de forma relativamente sencilla de los sedimentos de tres perforaciones en el lago Etzatlan, ya que de forma visual en los núcleos no resulta clara a primera instancia. Existe una buena correlación entre los valores altos de la C en función de aumento del material terrígeno en los núcleos. Las técnicas de magnetismo de rocas han permitido la separación de zonas con características diferentes a lo largo del tiempo, en particular en esta secuencia es posible la separación en tres intervalos que sugieren condiciones distintas en el Holoceno temprano, medio y superior, posiblemente relacionados con cambios ambientales dentro y fuera del lago.

muestran una fase magnética entre 450° y 550° C, posiblemente indicando la presencia de maghemita y su transformación a magnetita como la principal fase magnética en la secuencia (Fig. 4). Con base en los distintos parámetros magnéticos se han podido definir tres zonas o unidades magnéticas (UM) congruentes con la descripción de facies: UM 1 (ca. 10,000 a 6,000 años cal. AP), UM 2 (6,000-4,000 años cal. AP) y UM 3 (4,000 años cal. AP-2013 años DC).

En la UM 1 (Holoceno temprano) con baja concentración de minerales magnéticos, presenta cocientes S que sugieren la presencia mayoritaria de minerales de baja coercitividad, con excepción de la parte inicial y final del intervalo donde se presentan relativamente mayores coercitvidades, el HIRM presenta valores relativamente bajos lo que sugiere también la baja concentración de minerales antiferromagnéticos. La Xfd, con escasos valores elevados, sugiere la presencia de una componente SP, mientras que los cocientes ARM/SIRM sugieren presencia de partículas SD o PSD en la parte media del intervalo (Fig. 2).

En la UM 2 (Holoceno medio) de concentración media, presenta valores elevados y relativamente medios en los cocientes S, lo que sugiere la presencia de una combinación de minerales de alta y baja coercitividad, el HIRM en la porción baja del intervalo presenta valores más altos que sugieren presencia de minerales de alta coercitividad. La Xfd presenta valores bajos y



Agradecimientos

Al proyecto UNAM-DAGPA-PAPIIT IAI04815 (Dr. Gabriel Vázquez), por el financiamiento para la realización del mismo. Al Dr. Avto Gogichaishvili y Dr. Juan Julio Morales del Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), del Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, UNAM, por las facilidades prestadas para el uso de equipos. A la Dra. Berenice Solís, M. Luis García Montes, Gabriela García Ayala, por su colaboración en el trabajo de Campo.

Referencias

- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., Ortega-Guerrero, B., 2010. Evidencias de Cambio Climático y Ambiental en Registros Glaciales y Cuencas de Altura del Centro de México Durante el Último Máximo Glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62 (3), pp.359-377.
- Dunlop, D., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc), 2. Application to data for rocks, sediments, and soils. *Journal of Geophysical Research*, 107, No. B3, 10.1029/2001JB000487, pp. EPM 5-1 – 5-15
- Evans, M., Heller, F., 2003. Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Ed. Academic press, EEUU, 299 pp.
- Ferrari, L., 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geologica Mexicana*, LIII, pp. 84-92
- Lozano-García, S., Vázquez-Castro, G., Israde-Alcántara, I., 2010. Registro palinológico de la perturbación humana y natural de los últimos 3200 años en el lago de Zirahuén, centro-occidente de México, en: Ayala L., Cárdenas B. (Eds.), Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo e Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales*, 87-112.
- Ortega, B., Caballero, M., Lozano, S., Vilaclara, G., Rodríguez, A., 2006. Rock magnetic and geochemical proxies for iron mineral diagenesis in a tropical lake: Lago Verde, Los Tuxtlas, East-Central Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 250, 444-458.
- Reimer, P., Baillie, M., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Bertrand, C., Blackwell, P., Buck, C., Burr, G., Cutler, K., Damon, P., Edwards, R., Fairbanks, R., Friedrich, M., Guilderson, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., McCormac, F., Manning, S., Ramsey, C., Reimer, R., Remmele, S., Southon, J., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F., Plicht, J., Weyhenmeyer, C., 2004. IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration 26 - 0 ka BP. *Radiocarbon*, 46, 1029-1058.
- Stuiver M., Reimer P., 1993. Extended 14C data base and revised Calib 3.0 14C calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Reimer, R. W., 2005. CALIB 5.0. [WWW program and documentation].
- Thompson R., Oldfield F., 1986, Environmental Magnetism, Ed. Allen and Unwin, Londres, 227 pp.