



RÉGIMEN PALEOHIDROLÓGICO DE UNA CUENCA DE DRENAJE EN EL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO: ESTUDIOS DE MAGNETISMO AMBIENTAL.

G. Vázquez^{1*}, A. Goguitchaichvili², P. Roy³, J. Morales².

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia y Laboratorio de estudios paleoambientales UNAM, Morelia, México.

² Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica, UNAM, Unidad Michoacán, México.

³ Instituto de Geología, UNAM, CDMX, México.

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

ABSTRACT

Studies on lake sediments have shown that environmental magnetism tools have the potential to infer the paleoenvironmental and paleoclimatic conditions. On the present study, we analyzed a sediment sequence representing the Holocene by using rock magnetic techniques and geochemical methods to provide information related to the environmental and paleohidrologic conditions of a lacustrine basin located in western region of Mexico. Lacustrine sediment samples from an extracted core in western region of Tequila Volcano were analyzed. An age model was obtained from four AMS ¹⁴C dates and sedimentation rates were calculated between consecutive dates. Rock magnetic techniques were applied by determining the natural, anhysteretic and isothermal remanent magnetization (NRM, ARM and IRM), magnetic hysteresis, magnetic susceptibility vs. high temperature (κ vs. T) and some ratios of interest. Additionally, data used from X ray fluorescence (FRX) analysis, total organic and inorganic carbon (TOC-TIC) determination were used as supporting data.

The bottom of the sequence has an age of ca. 10 ka. Palaeohydrologic conditions of the region for the early Holocene were characterized by higher precipitations, associated to a northward migration of the inter-tropical convergence zone (ITCZ). For the middle-late Holocene, a southward migration of the ITCZ generated conditions similar to droughts. For the late Holocene, again, a northward migration of the ITCZ allows the predominance of precipitations. Environmental magnetism studies on lake sediments have shown to be a good tool for the paleoenvironmental and paleoclimatic interpretation. On the present study it is analyzed an Holocenic sequence by using rock magnetic techniques and geochemical proxies to provide information related to the environmental and palaeohidrologic conditions of a basin in the western region of Mexico.

Keywords: lacustrine sediments, paleoclimate, paleoenvironments, Holocene.

RESUMEN

Los estudios de magnetismo ambiental en sedimentos lacustres han mostrado ser una buena herramienta para la interpretación paleoambiental y paleoclimática. En el presente estudio se analiza una secuencia Holocénica por medio de técnicas de magnetismo de rocas y proxies geoquímicos, para proveer de información relacionada con el ambiente y condiciones paleohidrológicas de una cuenca en la región occidente de México. Se analizaron muestras de sedimentos lacustres procedentes de un núcleo extraído al occidente del volcán Tequila. Se obtuvo un modelo de edades a partir de cuatro fechamientos por ¹⁴C y se calculó las tasas de sedimentación entre fechamientos. Se aplicaron técnicas de magnetismo de rocas como la determinación de la NRM, ARM, IRM, Histéresis Magnética, κ vs. T, algunos cocientes de interés, así como análisis de FRX y determinación de TIC-TOC.

La edad para la base de la secuencia es de ca. 10 ka. Las condiciones paleohidrológicas de la región para el Holoceno temprano sugieren precipitaciones elevadas, asociadas con un desplazamiento de la ITCZ



hacia el norte. Para el Holoceno medio al tardío las grandes sequías en la región fueron producidas por un movimiento hacia el sur de la ITCZ; y para el Holoceno tardío se observa nuevamente un movimiento hacia el norte de la ITCZ, lo que permite el predominio de precipitaciones de verano.

Palabras clave: sedimentos lacustres, paleoclimas, paleoambientes, Holoceno.

1. Introducción

Los estudios en sedimentos lacustres han mostrado ser un registro muy útil en la interpretación paleoambiental, debido a su alta resolución y a las posibilidades de ser analizados mediante distintas técnicas, tal es el caso del magnetismo ambiental, el cual ha demostrado ser una herramienta particularmente útil en este tipo de estudios (Thompson y Oldfield, 1986; Evans y Heller, 2003; Ortega *et al.*, 2006). En el presente estudio se analiza por medio de técnicas de magnetismo de rocas y proxies geoquímicos, una secuencia sedimentaria del Holoceno con el objetivo de conocer el ambiente sedimentario, las condiciones paleohidrológicas que permitieron el aporte de materiales a la cuenca de depósito, así como los posibles patrones climáticos regionales que originaron dichas condiciones en una cuenca al norte del estado de Jalisco, México.

2. Descripción del sitio

El sitio se localiza en la porción noroccidental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), en la porción central de la República Mexicana. El material se colectó cerca del municipio de San Juanito Escobedo en el estado de Jalisco (SJE, 20° 47' 51.50" N, 104° 1' 4.59" W, 1350 msnm) y pertenece al paleolago Eatzatlán-Magdalena, actualmente solo con algunos represamientos que en época de sequía pierden completamente el agua almacenada. La región se caracteriza por un clima templado húmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 19 °C y precipitación media anual de 982 mm (Fig. 1).

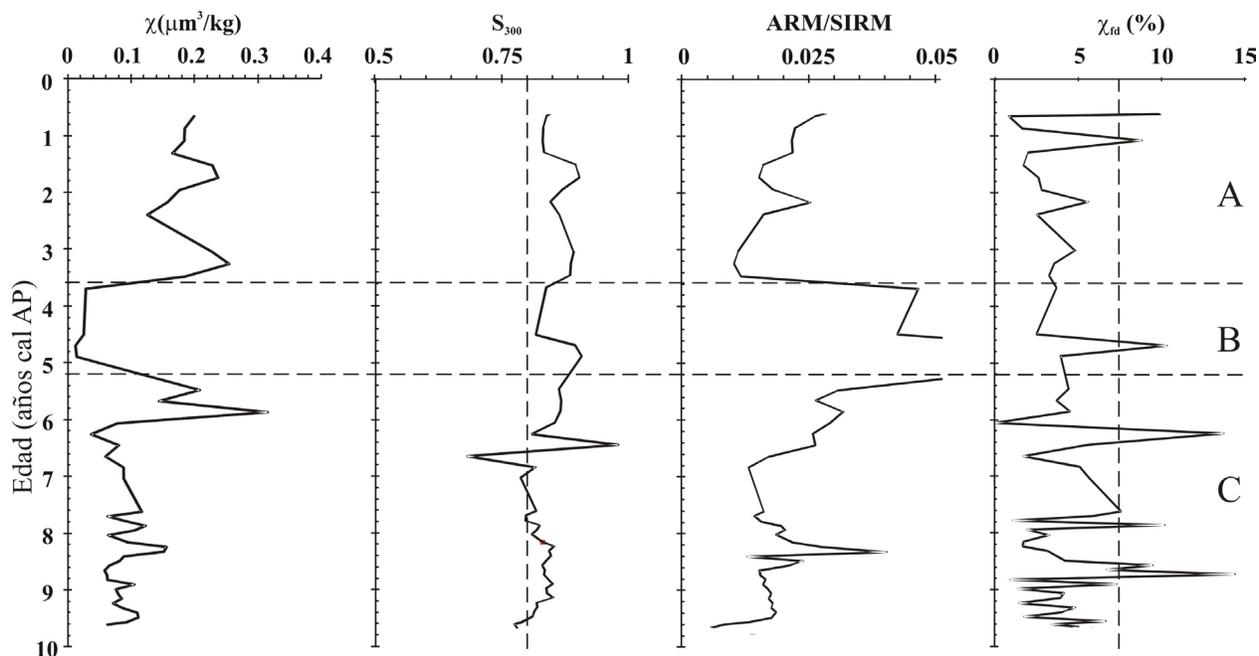


Figura 1. A) Mapa de ubicación del área de estudio en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). B) Vías de acceso al área de estudio desde la capital del estado de Jalisco (Guadalajara) hacia el municipio de San Juanito Escobedo (SJE). C) Mapa geológico y sitio de muestreo (SJE); los colores representan rocas basálticas y andesíticas (gris oscuro), dacitas (gris intermedio), tobas riolíticas (gris claro) y depósitos lacustres y aluviales (blanco).



3. Metodología

Los materiales colectados pertenecen a un núcleo de 1.22 m de longitud, del cual se extrajeron 54 muestras de forma continua en cubos de acrílico para ser analizados por pruebas de magnetismo de rocas, a demás de sus respectivas muestras para análisis geoquímicos. Se realizaron cuatro fechamientos por ^{14}C (AMS, Espectrometría de Aceleración de Masas) para el establecimiento del modelo de edades de la secuencia, además de propiedades físicas como granulometría y descripción mineralógica. Los análisis de propiedades físicas fueron realizados en el laboratorio de estudios paleoambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia. Se realizó la determinación de la susceptibilidad magnética (χ), NRM, ARM, IRM, histéresis magnética, κ vs. T y algunos cocientes de interés como el HIRM, S_{300} , ARM/SIRM y χ_{df} . las pruebas de magnetismo de rocas se realizaron en el Laboratorio de Universitario de Geofísica Ambiental, del Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán. Se realizó la determinación de elementos mayores y traza por medio de un espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X y determinación de carbono orgánico e inorgánico, ambos en el Instituto de Geología, todos los laboratorios pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México.

4. Resultados

La secuencia presenta estratificación masiva delgada de color pardo oscuro a negro, principalmente compuesta por materiales detríticos limo-arcillosos con mayor contenido de materia orgánica hacia la base de la secuencia. La secuencia presenta estratificación gradada inversa en la base y normal hacia la cima. El modelo de edades permitió establecer una edad de *ca.* 10 ka para la base de la secuencia, observándose continuidad en la sedimentación a lo largo del tiempo y con base en fechamientos contiguos se calcularon las tasas de sedimentación, obteniendo una tasa promedio muy baja de 0.13 mm/a.

Las propiedades magnéticas fueron caracterizadas para determinar la composición, concentración y tamaño de dominio magnético. Los parámetros dependientes de la concentración indican tres zonas con características contrastantes, la zona inferior C presenta relativamente baja concentración de minerales magnéticos con excepción de la cima, la zona media B con baja concentración y la zona superior con gran variabilidad en las concentraciones de minerales magnéticos (Fig. 2). Los cocientes S indican la presencia

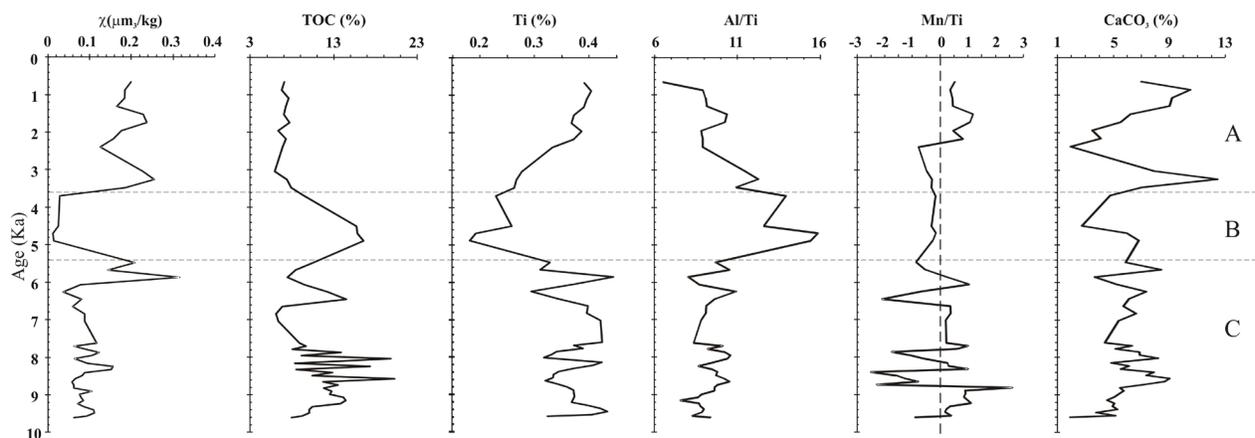


Figura 2. Datos de magnetismo de rocas en función del tiempo. Las letras A-C indican las zonas descritas de acuerdo a las propiedades magnéticas, χ : susceptibilidad magnética, S: cociente de coercitividad magnética, ARM: magnetización remanente anhística, SIRM: magnetización remanente isotermal de saturación, χ_{df} : dependiente de la frecuencia, ka: kilo años, AP: antes del presente.



mayoritaria de minerales de baja coercitividad. La ARM/SIRM indica presencia de partículas de dominio pseudo-sencillo (PSD) en la zona B y la χ_{fd} presenta valores bajos con escasas crestas que indican poca presencia de partículas finas principalmente hacia la base de la secuencia. El diagrama de Day indica la presencia mayoritariamente de partículas multidominio (MD); la κ vs. T indica la presencia de magnetita a lo largo de toda la secuencia; algunos de estos resultados fueron presentados por Vazquez *et al.* (2016).

La relación de las concentraciones de elementos mayores y el TIC-TOC muestran una separación en las tres zonas indicadas anteriormente (A-C). El TOC indica mayores concentraciones de materia orgánica en las zonas C y B; el elemento Ti útil para la determinación de materiales de origen detrítico y directamente relacionado con los materiales acarreados por escorrentía en la cuenca de drenaje, presenta valores muy bajos en la zona B, en comparación con las otras dos zonas, indicando menor acarreo a la cuenca por precipitaciones en esta zona. El Al/Ti es utilizado para la determinación de sílice de origen biogénico y en este caso presenta los valores más altos en la zona B. El Mn/Ti se emplea para determinar condiciones oxidantes en la interface agua-sedimento y presenta valores relativamente altos en la zona A y C. Finalmente el CaCO_3 fue calculado a partir del TIC y presenta oscilaciones a lo largo de toda la secuencia (Fig. 3).

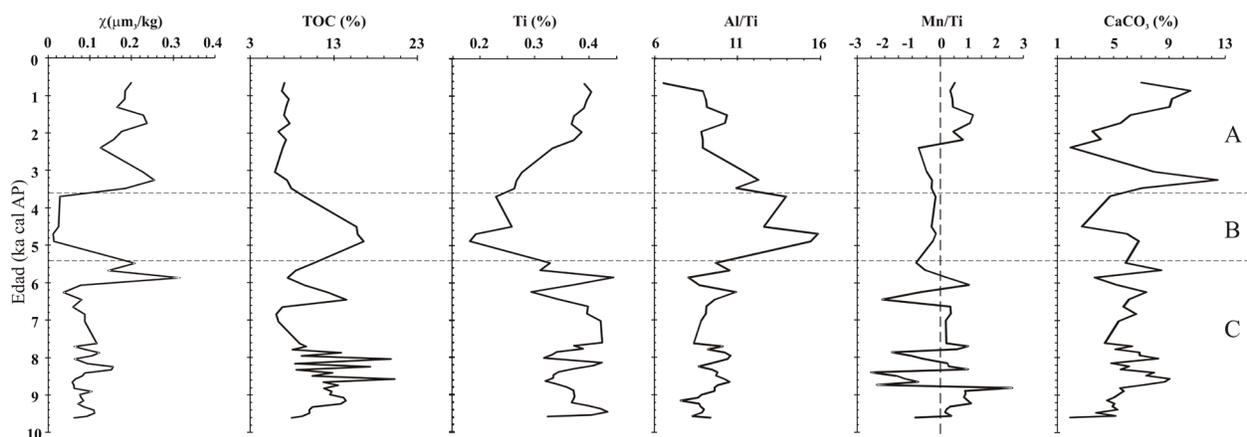
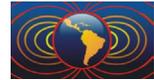


Figura 3. Datos geoquímicos en función del tiempo, en comparación con la susceptibilidad magnética. Las letras A-C indican las zonas descritas de acuerdo a las propiedades magnéticas, χ : susceptibilidad magnética, TOC: carbono orgánico total, Ti: titanio, Al: aluminio, Mn: manganeso, CaCO_3 : carbonato de Calcio, ka: kilo años, AP: antes del presente.

5. Discusión

Con base en el modelo de edades, se definieron tres zonas que representan los siguientes periodos de tiempo: de *ca.* 10-5.4 ka AP (antes del presente), el segundo de 5.4-3.6 ka AP y el periodo entre 3.6-0.6 ka AP. Los cambios en granulometría de grueso a fino hacia la cima sugieren una disminución en la energía de sedimentación a lo largo del tiempo. De acuerdo a la topografía local se sugiere un lago somero de escasos metros de profundidad con extensiones muy grandes.

En la zona de 10 a 5.2 ka AP, la baja concentración de minerales ferrimagnéticos sugiere la dilución de la señal magnética, posiblemente por el aumento de materia orgánica en la secuencia, sin embargo, el Ti indica en general una etapa de alto aporte de material detrítico. La mineralogía magnética (Ti-magnetita pobre en Ti y magnetita pura o casi pura), son heredadas de las rocas y suelos de los alrededores por tanto fueron transportadas por arroyos hacia el interior del lago. Existe la presencia de partículas MD, SD y SP (superparamagnéticas) en todo el intervalo lo que sugiere un acarreo fluvial de todo tipo de partículas. Las



condiciones oscilantes de Mn/Ti, en conjunto con la incipiente precipitación de carbonatos sugieren un nivel lacustre bajo antes de ca. 5.2 ka AP, asociado a un clima ligeramente más seco que el actual.

Para el periodo de 5.2 a 3.6 ka AP, los parámetros magnéticos sugieren sulfuros formados por diagénesis con partículas SD y SP diluidas por la materia orgánica. Los indicadores geoquímicos indican poco aporte de la fracción detrítica y por tanto proliferación de diatomeas en la columna de agua (Al/Ti). Este periodo se considera con condiciones de sequía en general, con un máximo de carbonatos al final del intervalo, como consecuencia de una etapa de alta concentración de sales disueltas en el agua, esto coincide con un intervalo de mayor acarreo de materiales eólicos, lo que sugiere una etapa de intensificación de las condiciones de aridez en la cuenca.

Para la última etapa de 3.6 a 0.65 ka AP, la χ y el Ti sugieren alto aporte detrítico, el aumento en TOC sugiere que a pesar de la alta vegetación existían fuertes precipitaciones que permitían el acarreo de materiales, lo que se puede relacionar al aumento en partículas. En los intervalos de menor aporte de terrígenos aumentan las partículas SD por disminución de la porción gruesa.

6. Conclusiones

Los datos estratigráficos indican un ambiente de baja tasa de sedimentación con condiciones climáticas relativamente húmedas para el periodo comprendido entre los ca. 10-5.4 ka AP, con pequeños intervalos de condiciones secas, seguido por un periodo con condiciones de gran aridez (5.4-3.6 ka AP), que permitió el ingreso de materiales de forma eólica al lago con baja alteración química. Para el periodo entre 3.6-0.6 ka AP el lago se transformó en una cuenca evaporativa, debido a la saturación de sales heredada del periodo de intensa sequía anterior, a pesar de existir condiciones de relativa humedad en la región.

Agradecimientos

A los proyectos UNAM-DAGPA-PAPIIT IAI04815, IA107317 y PAPIME PE112816 (Dr. Gabriel Vázquez), por el financiamiento para la realización del mismo. Al Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), del Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, UNAM, por las facilidades prestadas para el uso de equipos. Al. Quim. Rufino Lozano por su apoyo en los análisis de FRX, a la Dra. Berenice Solís, Mtra. Ericka Blanco, Mtro. Sean Smith, Mtro. Luis García Montes y Lic. Gabriela García Ayala, por su colaboración en el trabajo de Campo.

Referencias

- Evans M., Heller F., 2003. Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Ed. Academic press, EEUU, 299 pp.
- 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.
- Thompson R., Oldfield F., 1986, Environmental Magnetism, Ed. Allen and Unwin, Londres, 227 pp.
- Vázquez G., Smith S., Blanco E., 2016, Magnetismo de rocas de una secuencia holocénica en el lago Etzatlán, Jalisco, México. *Latinmag Letters Special Issue*, 6, D21, 1-5.