



PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE SEDIMENTOS DEL LAGO DE XOCHIMILCO

M.A. Albarrán^{1*}, I.Y. Reyes², B. Ortega³

¹ Lic. en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias UNAM, Cd. México, México.

² Ing. en Geociencias, Instituto Tecnológico Superior de V. Carranza, Lázaro Cárdenas, México.

³ Instituto de Geología, UNAM, Cd. México, México.

*e-mail: maalbarrans@ciencias.unam.mx

ABSTRACT

The paleoenvironmental conditions recorded in lacustrine sediments of Xochimilco basin, México, since the Last Glacial Maximum to the Holocene have been inferred through the analyses of magnetic mineralogy and geochemical proxies. The variations in the studied parameters follow the main climatic fluctuations occurred in this time period. During deglacial an intense runoff is recorded and magnetic mineralogy is characterized by fine-grained hard minerals. Low concentration of magnetic minerals rich in goethite/hematite and high Ca/Ti ratio point to dry conditions during the early Holocene. The beginning of mid Holocene is characterized by the dominance of terrestrial vegetation and an intense runoff of detrital particles. However, during late Holocene the terrestrial vegetation cover decreases while the runoff erosion is maintained. The late Holocene conditions may result from anthropic impact.

Keywords. Environmental magnetism, geochemical proxies, Holocene, deglaciation.

RESUMEN

Las condiciones paleoambientales desde el Último Máximo Glacial al Holoceno temprano contenidas en una secuencia lacustre de Xochimilco, México, han sido inferidas a través del análisis de la mineralogía magnética e indicadores geoquímicos. Los parámetros analizados presentan variaciones que corresponden a las fluctuaciones climáticas mayores de este periodo. Durante la deglaciación ocurre una intensa erosión, en donde la fracción terrígena está dominada por minerales magnéticos duros de tamaño fino. En el Holoceno temprano la disminución de la concentración de minerales magnéticos en los que abunda goethita/hematita y el aumento de Ca/Ti apuntan a condiciones secas. Durante la parte media del Holoceno hay un aporte intenso de terrígenos y domina la vegetación terrestre. Sin embargo, durante el Holoceno tardío la vegetación disminuye y se mantiene el aporte detrítico. Estas condiciones ambientales podrían tener un origen antrópico.

Palabras Clave. Magnetismo ambiental, indicadores geoquímicos, Holoceno, deglaciación.

1. Introducción

En la zona del lago de Xochimilco se han hecho numerosos estudios sobre el impacto ambiental ocasionado por la ocupación humana desde la actualidad hasta la época prehispánica, de la que existen registros de presencia humana desde 4,200 años a.C. (McClung y Acosta, 2015). Sin embargo son escasos los estudios de las condiciones paleoambientales y paleoclimáticas del Holoceno y Pleistoceno tardío. El objetivo del trabajo es determinar las variaciones paleoambientales ocurridas del final del Pleistoceno al Holoceno en la cuenca de Xochimilco, registradas en una secuencia lacustre de 2.46 m, a través del análisis de propiedades magnéticas e indicadores geoquímicos. La cuenca de Xochimilco es una subcuenca ubicada al suroeste de la cuenca de México (Fig. 1). Esta cuenca se localiza en la parte centro oriental del Cinturón Volcánico Transmexicano, que es un arco continental activo desde el Mioceno originado por la subducción de la placa de Cocos debajo de Norteamérica (Gómez-Tuena *et al.*, 2005). La cuenca de Xochimilco está rodeada por estructuras volcánicas monogenéticas pertenecientes al Campo Volcánico de la Sierra Chichinutzin

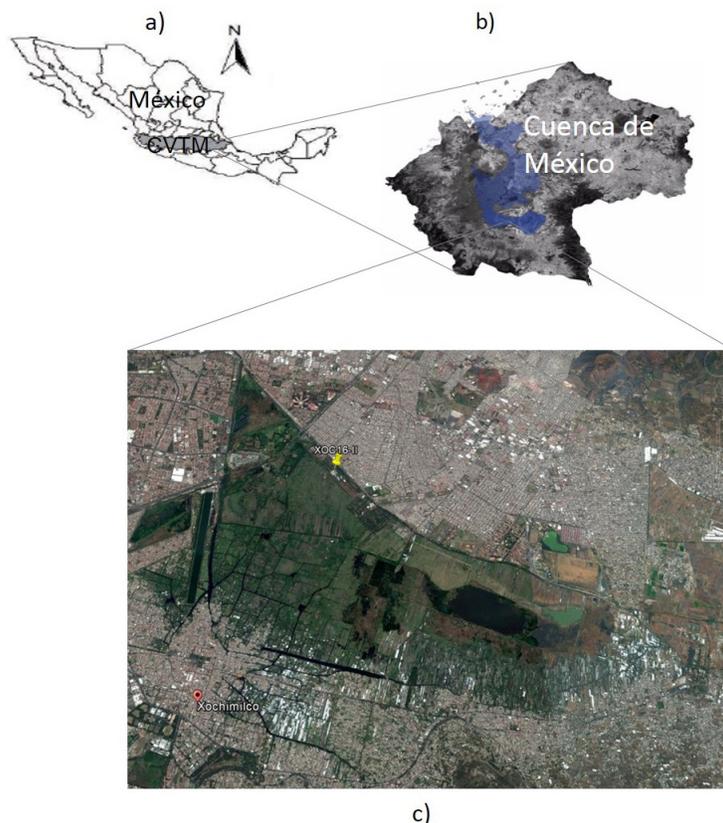
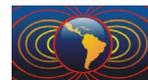


Figura 1. Ubicación del área de estudio: a) Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), b) localización de la cuenca de México en el CVTM, c) área de estudio Vivero Nezahualcóyotl XOC16-II. El mapa no está escalado. Modificado de Reyes-Corona (2017).

y por estratovolcanes de la Sierra de Las Cruces y la Sierra Nevada, algunas de las cuales han producido depósitos que son utilizados como marcadores estratigráficos. Tales depósitos volcánicos pueden imprimir sus características magnéticas en los sedimentos de la cuenca, al igual que otros procesos naturales como la erosión fluvial de material externo o alteraciones diagenéticas que responden a cambios en el potencial redox de la interfaz agua-sedimento. Estos procesos son controlados por variaciones ambientales y climáticas, y pueden ser reconocidos a través del estudio de las variaciones de la mineralogía magnética contenida en los sedimentos lacustres: su composición, su distribución de tamaños y su concentración. Las variaciones en la mineralogía magnética son comúnmente comparadas con indicadores ambientales independientes, para robustecer las interpretaciones paleoambientales.

2. Metodología

Se colectó una secuencia sedimentaria de 2.46 m de longitud en la parte cercana al depocentro de la cuenca. La columna litoestratigráfica se estableció a partir de los componentes sedimentarios, de acuerdo al esquema de clasificación propuesto por Schnurrenberger *et al.* (2003). El análisis de propiedades magnéticas, se realizó en 47 muestras contenidas en cubos de acrílico de 8 cm³, tomadas a lo largo de la secuencia. Se midió la susceptibilidad magnética en dos frecuencias en un equipo Bartington MS2B. La susceptibilidad magnética se expresó normalizada por la masa (χ), y se calculó la susceptibilidad dependiente de frecuencia ($\chi_{fd}\%$). Se aplicó una magnetización remanente anhisterética (ARM) en un campo alterno decreciente de 100 mT, con un campo directo de 50 mT en un desmagnetizador de campos alternos Molspin. Se realizaron curvas de adquisición de magnetización remanente isothermal (IRM) en pequeños incrementos hasta 1 T, y



en campos inversos hasta 300 mT, para obtener el espectro de coercitividades y la coercitividad remanente (H_{cr}) usando un magnetizador de pulsos. La remanencia obtenida a 1 T se consideró como la magnetización remanente isothermal de saturación (SIRM) y se calculó la magnetización remanente isothermal debida a los minerales con coercitividad mayor a 300 mT (HIRM) y los cocientes S_{300} , $SIRM/\kappa_{if}$ y $ARM/SIRM$. Las remanencias fueron medidas en un magnetómetro de giro JR-6. La susceptibilidad en función de temperatura (kT) se observó en muestras seleccionadas utilizando un sistema Bartington MS2WF para determinar la mineralogía magnética a través de las temperaturas de Curie. La determinación de las abundancias relativas de elementos mayores en las muestras fue realizada mediante fluorescencia de rayos X. El contenido de carbono total y la fracción orgánica e inorgánica, así como el nitrógeno fueron cuantificados por medio de un analizador elemental CHNS/O Perkin Elmer y se determinó la relación C_{org}/N . La escala de edad fue determinada a partir de un fechamiento de ^{14}C a 0.85 m de profundidad, así como del reconocimiento de marcadores estratigráficos de edad bien conocida, como la pómez Tutti Frutti (17.07 ka cal AP) y la pómez Toluca Superior (12.3 ka cal AP) (Siebe y Macías, 2006; Arce *et al.*, 2003).

3. Resultados

La columna litoestratigráfica se dividió en tres unidades (Fig. 2). La unidad basal está compuesta principalmente por sedimentos clásticos y volcaniclásticos, así como por depósitos volcánicos de caída (tefras). Estos sedimentos se encuentran intercalados con limos y arcillas. La unidad intermedia está compuesta por limos arenosos lacustres y oozes de diatomeas. La unidad superior está dominada por sedimentos clásticos ricos en materia orgánica.

El modelo de edad mostró que la base de la secuencia tiene *ca.* 18.14 ka cal AP, y la cima tiene una edad de *ca.* 1.7 ka cal AP, lo que sugiere que se encuentra decapitada la parte final del Holoceno (Reyes-Corona, 2017).

La secuencia se dividió en tres unidades magnéticas (UMI-III), de acuerdo con la concentración de minerales magnéticos, es decir, con base en los valores de χ_{if} , χ_{ARM} y SIRM. (Fig. 2)

UMIII

La unidad basal está a una profundidad de 2.46-1.33 m, y tiene una edad de *ca.* 18.14 y 11.3 ka cal AP. La mineralogía magnética dominante son Ti-magnetitas, aunque también se observa goethita en algunas muestras (Fig. 3a). En esta unidad se presentan los valores más altos de indicadores detríticos así como la mayor concentración de minerales magnéticos, que están caracterizados en general por partículas magnéticamente duras (alto H_{cr} y bajo S_{300}), en las que abundan granos SP y SD (altos $\chi_{fd}^{\%}$ y $SIRM/\kappa_{if}$). Los valores de biosílice y la relación C_{org}/N son bajos.

UMII

Esta unidad tiene una profundidad de 1.33 a 0.27 m, que abarca de *ca.* 11.3 a 4.06 ka cal AP. La base de la UMII está situada a mayor profundidad que la unidad litoestratigráfica 2, pues incluye también a la tefra encontrada a 108 cm. Está caracterizada por valores relativamente bajos de χ_{if} , χ_{ARM} , SIRM y HIRM. En la base de esta unidad hay un ligero aumento del sílice biogénico (Si/Ti) que corresponde con una disminución de Ti y Fe y valores bajos de χ_{if} , χ_{ARM} y SIRM, así como de bajos H_{cr} y altos S_{300} . La parte media de esta unidad está caracterizada por un aumento en Ca y en las relaciones Fe/Ti y Ca/Ti, que coinciden con los valores más bajos de concentración de ferrimagnéticos y la disminución en el contenido de granos SP ($\chi_{fd}^{\%} < 1.86$ y bajos $SIRM/\kappa_{if}$) y SD ($ARM/SIRM$), así como el aumento de minerales duros (alta coercitividad). El incremento está acompañado por valores altos de C_{org}/N (> 20).

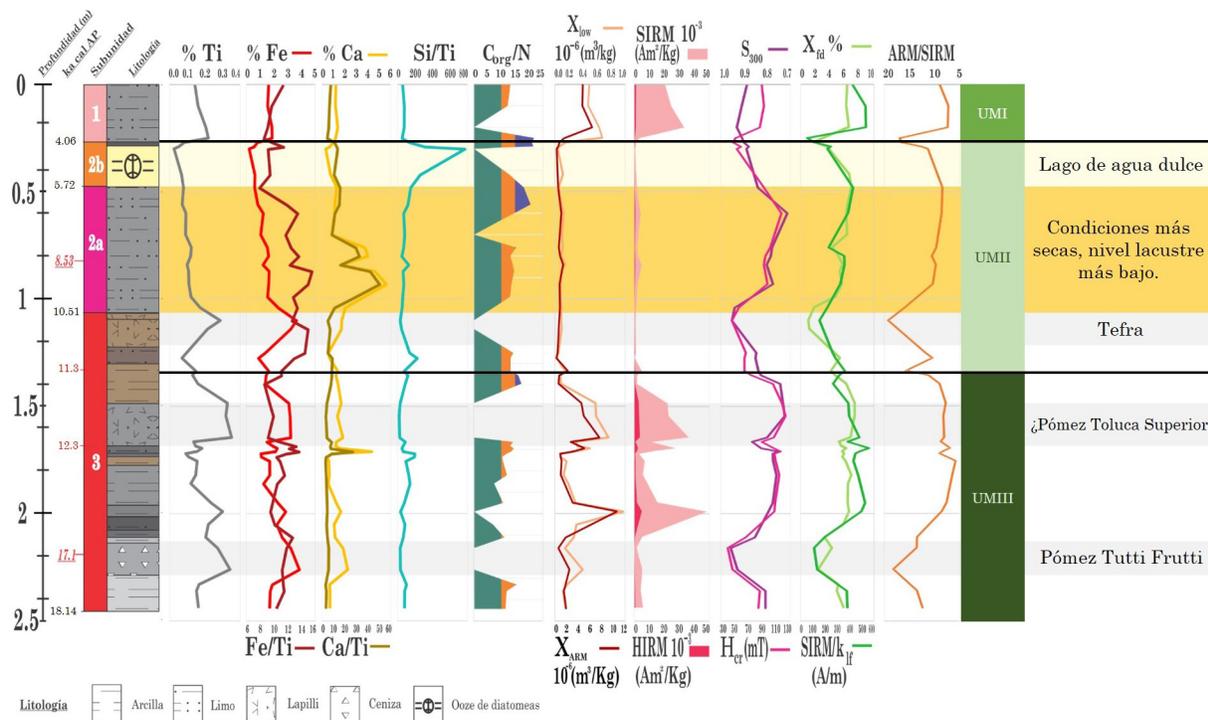


Figura 2. Perfiles de propiedades magnéticas y elementos mayores de la secuencia estudiada. Los números en rojo corresponden a las edades calibradas AP utilizadas en el modelo de edad. A la izquierda de la columna litológica se ilustran las unidades litoestratigráficas. Los elementos Ti y Fe son indicadores de aporte detrítico; la relación Fe/Ti indica removilización y precipitación del Fe; Ca y Ca/Ti son indicadores de aguas concentradas y precipitación de minerales autigénicos; la relación Si/Ti es una medida del biosilíce; la relación $C_{org}/N < 10\%$ indica que la materia orgánica es predominantemente de origen acuático, en tanto $> 15\%$ es de origen predominantemente terrestre. χ , χ_{ARM} , SIRM son indicadores de concentración de minerales (ferri)magnéticos. HIRM, H_{cr} y S_{300} indican la presencia de minerales de alta coercitividad. $\chi_{fd}\%$ y $SIRM/k_{if}$ son indicadores de granos SP, en tanto que ARM/SIRM es una medida de abundancia de granos SD. A la derecha se ilustran las unidades magnéticas UMI-III en las que se divide la secuencia.

UMI

Esta unidad abarca desde 0.27 m hasta la cima de la columna, de *ca.* 4.06 hasta los 1.75 ka cal AP (fig. 2). La mineralogía magnética está dominada por Ti-magnetitas (fig.3b). Presenta un contenido de Ti y de concentración (χ_{if} , χ_{ARM} y SIRM) relativamente alto. La H_{cr} es relativamente alta en la superficie. A pesar de la presencia de minerales más duros, el cociente S_{300} indica la predominancia de minerales suaves en toda la unidad; la HIRM corrobora el bajo aporte relativo de los minerales duros. La $\chi_{fd}\%$ se mantiene con valores relativamente altos ($\approx 4-6\%$), así como el cociente $SIRM/k_{if}$. El contenido de Fe, Ca y las relaciones Ca/Ti y Si/Ti se mantienen relativamente bajas y constantes, mientras que la relación Fe/Ti aumenta hacia la superficie. La relación C_{org}/N varía de $> 20\%$ en la base a 12-15% en la cima.

4. Discusión y conclusiones

La secuencia estudiada abarca desde poco después del Último Máximo Glacial (*ca.* 20-18 ka AP), hasta el Holoceno tardío (*ca.* 1.7 ka cal AP). La base de la secuencia está caracterizada por la presencia de dos tefras que aportan los minerales magnéticos primarios. Entre *ca.* 17.9 y 12 ka cal AP, es decir durante la deglaciación, se registra el mayor aporte de detritos. La vegetación está dominada por la fracción acuática,

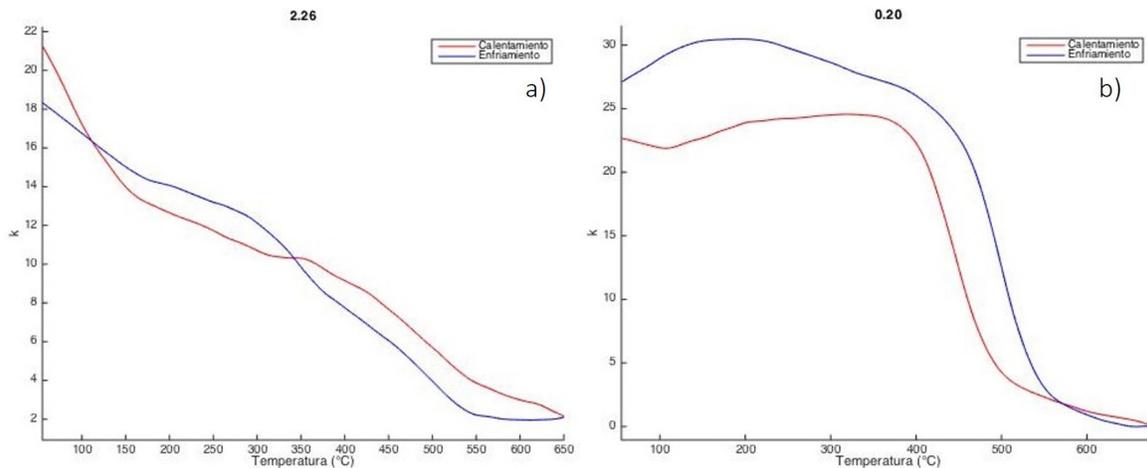
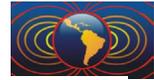


Figura 3. Curvas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura. a) Pómez Tutti Frutti (2.26m); b) UMI: 0.20 m.

lo que indica condiciones de escasa cubierta arbórea bajo las que existió una erosión relativamente intensa. La presencia de minerales magnéticamente duros, entre ellos goethita, y de tamaño fino (SP y SD) sugieren la erosión de suelos donde se formaron estos minerales.

Hacia el inicio del Holoceno, *ca.* 12 ka cal AP, en la UMII disminuye el aporte de terrígenos. Esta disminución es acompañada de un aumento en la relación Ca/Ti, así como de minerales magnéticos duros y de tamaño fino (SP-SD). Éstas características, aunadas a la baja relación C_{org}/N , sugieren condiciones secas, con escasa cubierta arbórea y escasa precipitación. La inferencia de condiciones secas también es apoyada por la abundancia de minerales magnéticamente duros, hematita/goethita. Al final de este periodo se registra una recuperación en el cuerpo lacustre, en donde dominan diatomeas de agua dulce.

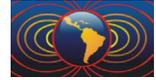
Alrededor de 4.06 ka, en la base de la UMI, se registra un incremento en el aporte de terrígenos que coincide con la expansión de la vegetación terrestre. Durante este tiempo los minerales magnéticos son suaves y gruesos. Posteriormente, hacia la cima de la secuencia y hasta 1.7 ka se mantiene el aporte de detritos, sin embargo la mineralogía magnética está caracterizada por la abundancia de partículas más pequeñas, SP y SD. La disminución de la cubierta de vegetación terrestre sugiere la erosión de suelos en los que se forman las partículas finas. Este decremento en la vegetación terrestre y la erosión pudieron tener un origen antrópico.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el proyecto UNAM-PAPIIT IN107416, del cual M.A. Albarrán obtuvo una beca para realización de tesis. I.Y. Reyes recibió una beca del Instituto de Geofísica para elaboración de tesis.

Referencias

- Arce J.L., Macías J.L., Vázquez-Selem L. 2003. The 10.5 ka Plinian eruption of Nevado de Toluca volcano, Mexico: Stratigraphy and hazard implications. *Geological Society of America Bulletin* 115, 2, 230-248.
- Gómez Tuena A., Orozco Esquivel Ma. T. y Ferrari L., 2005. "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana." *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. Conmemorativo del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas de México* 57, 3, 227-283.



- McClung E., Acosta G. 2015. Una ocupación del periodo de agricultura temprana en Xochimilco (ca. 4200-4000 a.n.e.). *An. Antrop.* 49, 2, 299-315.
- Reyes-Corona I.Y. 2017. *Estratigrafía y ambientes de depósito de los sedimentos del Pleistoceno Tardío de la cuenca de Xochimilco, México.* (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, México, Puebla.
- Schnurrenberger D., Russell J., Kelts K. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29, 141-154.
- Siebe C., Macías J.L. 2006. Volcanic hazards in the Mexico City metropolitan area from eruptions at Popocatepetl, Nevado de Toluca, and Jocotitlán stratovolcanoes and monogenetic scoria cones in the Sierra Chichinautzin Volcanic Field. En Siebe, C., Macías, J.L., Aguirre-Diaz, G. (Eds.) *Neogene-Quaternary continental margin volcanism: a perspective from Mexico.* Geological Society of America, Boulder, Colorado, 253-329.