TEMPERATURAS DE CURIE DE TITANOMAGNETITAS EN PRODUCTOS VOLCÁNICOS DE LA FAJA VOLCÁNICA TRANSMEXICANA: EFECTOS DE TEMPERATURAS-DINÁMICA DE EMPLAZAMIENTO Y ANÁLISIS DE PALEOINTENSIDAD.

Montes, O.[1]*, Alva-Valdivia, L.[1], Kontny, A.[2], Cañón-Tapia, E.[3]

[1] Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México,
Coyoacán 04510, Ciudad de México, México.
[2] Geologisch-Paläontologisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität,
Im Neuenheimer Feld 234, D-69120 Heidelberg, Germany.
[3] CICESE Earth Sciences Division, PO Box 434843, San Diego, CA 92143, USA
* e-mail: osvaldo502@gmail.com

ABSTRACT

One of the challenges in determining past variations in the absolute intensity of the geomagnetic field lies in finding materials that have ideal, single-domain (SD) particles that are also resistant to alteration on heating. True SD particles are rare in nature. Lava flows, which cool relatively quickly, are frequently used in paleointensity studies because they typically contain pseudo-single-domain (PSD) sized particles, often viewed as a reasonable compromise. Restricting paleointensity studies to basalts also restricts us in space and time to localities with basaltic volcanism. It would therefore be advantageous if paleointensity estimates could be derived from a wider variety of eruptive units, including more silicic units, which tend to erupt explosively often forming ash and/or pumice-rich pyroclastic density currents (PDCs). The objective of the study is to investigate the dependence of thermomagnetic behavior as a function of distance and depth (spatial and temporal mapping of sites, respectively) of pyroclastic deposits and lava flows in order to contribute to a better understanding of the thermal history of the titanomagnetites in volcanic rocks. This is the first time that this technique will be applied in Mexico. The first results of pyroclastic flows of the volcano Nevado de Toluca and Popocatépetl, Santa Marta Volcano and San Luis Potosí Volcanic Field are presented.

Keywords: Geomagnetic paleointensity, pyroclastic flows, Curie temperature, magnetic mineralogy.

RESUMEN

Uno de los desafíos en la determinación de variaciones pasadas en la intensidad absoluta del campo geomagnético radica en encontrar materiales que tienen partículas ideales de dominio sencillo (SD) y que sean también resistentes a la alteración en el calentamiento. Las partículas SD son raras en naturaleza. Los flujos de lava, que se enfrían con relativa rapidez, se usan frecuentemente en estudios de paleointensidad porque típicamente contienen partículas de tamaño pseudo-dominio sencillo (PSD), a menudo consideradas dentro de un campo razonable. Restringir los estudios de paleointensidad a los basaltos también nos restringe en espacio y en tiempo a localidades con volcanismo basáltico. Por lo tanto, sería ventajoso que las estimaciones de paleointensidad pudieran derivarse de una mayor variedad de unidades eruptivas, incluyendo más unidades silícicas, que tienden a erupcionar de forma explosiva frecuentemente formando cenizas y/o corrientes de densidad piroclástica ricas en piedra pómez. El objetivo del estudio es investigar la dependencia del comportamiento termomagnético en función de la distancia y profundidad (mapeo espacial y temporal de sitios, respectivamente) de depósitos piroclásticos y flujos de lava con el fin de contribuir a una mejor comprensión de la historia térmica de la titanomagnetita en rocas volcánicas. Esta es la primera vez que esta técnica se aplicará en México. Se presentan los primeros resultados de flujos piroclásticos del volcán Nevado de Toluca y Popocatépetl, Volcán Santa Marta y Campo Volcánico San Luis Potosí.

Palabras clave: Paleointensidad geomagnética, flujo piroclástico, temperatura Curie, mineralogía magnética.

Introducción y planteamiento

El magnetismo en los sólidos es un fenómeno interesante y amplio con implicaciones en muchos aspectos de la física fundamental y la física aplicada y la física experimental. Para entender el magnetismo de los minerales, primero hay que entender el comportamiento de los iones aislados e interactuantes. En el plano atómico, el momento dipolar magnético de un ion libre se divide en dos partes: el momento dipolar orbital asociado al movimiento de las cargas eléctricas alrededor del núcleo y el momento de giro debido a los electrones no emparejados (Buttler, 1998). Los momentos magnéticos permanentes son llamados paramagnéticos y los que no los tienen se llaman diamagnéticos. Si los momentos magnéticos permanentes interactúan colectivamente para producir un orden magnético de largo alcance, aparece una magnetización espontánea. Estos materiales se denominan ferromagnéticos y ferrimagnéticos, dependiendo del tipo de disposición. En los materiales antiferromagnéticos existe un orden de largo alcance, pero la magnetización espontánea es cero (Dunlop y Özdemir, 1997).

Uno de los desafíos en la determinación de la intensidad absoluta del campo geomagnético radica en encontrar materiales que tengan partículas ideales (SD, dominio simple, de naturaleza rara) y también resistentes a la alteración del calentamiento. Por lo tanto, los objetivos de este estudio son: 1) examinar cómo la temperatura a la que la magnetización se anula varía con la historia térmica; 2) determinar en qué medida esto podría influir en las estimaciones de la temperatura de emplazamiento; Y 3) examinar cómo pueden utilizarse las variaciones estratigráficas en las propiedades magnéticas para estimar la temperatura de emplazamiento.

Se ha demostrado que la magnetita de grano fino (PS-SD) puede existir en la matriz vítrea de la toba. El vidrio puede proteger al menos parcialmente la magnetita de la alteración después del emplazamiento y durante el calentamiento del laboratorio. Estas ventajas las convierten en objetivos atractivos para los estudios de paleointensidad, pero los flujos piroclásticos pueden tener complejas historias térmicas y de alteración, dejando incierta la naturaleza de la remanencia magnética en estos flujos (Bowles *et al.*, 2015). Jackson y Bowles (2014), aportaron nuevas evidencias que sugieren que la temperatura de Curie (Tc) de la titanomagnetita ($Fe_{3-x}Ti_xO_4$, común en las rocas ígneas) no es constante con la composición y puede ser influenciada por su velocidad de enfriamiento e historia térmica. Esto se interpretó como resultado de un proceso de reordenamiento de cationes. Este proceso de reordenación de cationes se produce a altas temperaturas donde los cationes en el mineral tienen suficiente energía térmica para reubicarse en diferentes sitios cristalográficos. Cuanto más lento se enfría el mineral / roca, más tiempo estos cationes tienen que encontrar sitios más preferenciales, lo que resulta en un orden más alto y significa mayores temperaturas de Curie. (Bowles *et al.*, 2013).

Métodos y resultados

Para este estudio paleomagnético se propone el uso de corrientes de densidad piroclástica (PDC por sus siglas en inglés) de los volcanes principales de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM). Los sitios hasta ahora procesados en laboratorio son: 1) Volcán Nevado de Toluca y 2) Volcán Santa Marta (Los Tuxtlas). Los siguientes sitios serán el Campo Volcánico de San Luis Potosí (CVSLP) y el volcán Popocatépetl.

En la Figura 1 se muestran los resultados de los parámetros de histéresis medidos a temperatura ambiente para muestras de cada sitio del volcán Nevado de Toluca. Se utilizó un instrumento micromagnetómetro "Micromag" AGFM del laboratorio del Instituto de Geofísica de la UNAM en la Ciudad de México, aplicando campos de hasta 1,2 Teslas. Los ciclos de histéresis fueron generalmente simétricos. Los parámetros de histéresis se han representado en el digrama de Day (Fig. 2) que representa las relaciones Hcr/Hc vs Mr/Ms

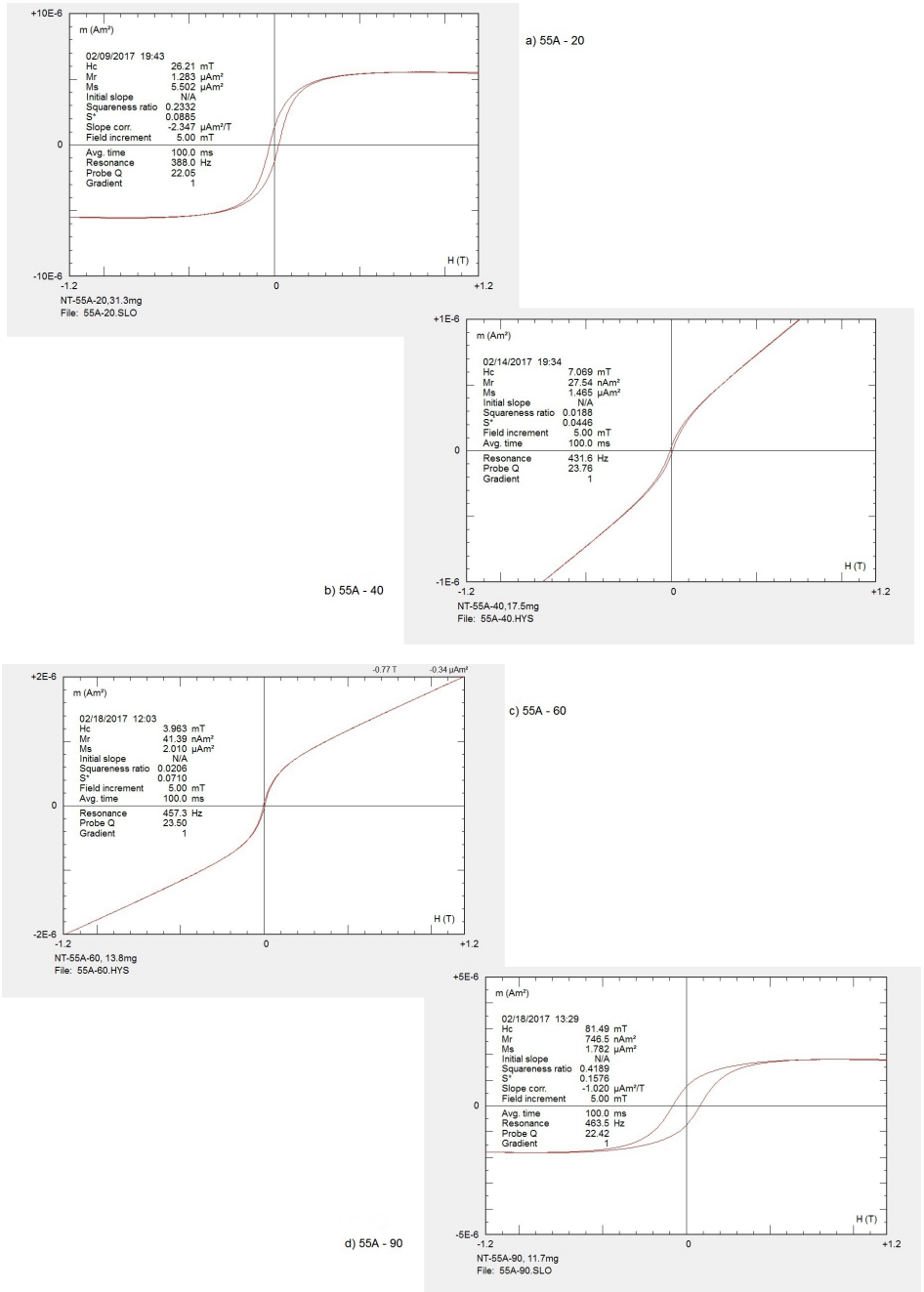

Figura 1. Curvas de histéresis del sitio 55-A. La muestra a) representa la base del perfil y la muestra d) la parte superior. Se observa que en la base y en la parte superior hay materiales que muestran más coercitividad que en el interior del flujo. Al mismo tiempo, se observa que en el interior los minerales no alcanzan la saturación.

(Day *et al.*, 1977); la mayoría son dominio pseudo-simple.

En el procesado de las muestras piloto del volcán Santa Marta la magnetización remanente se midió con un magnetómetro de rotación JR6 (AGICO) (sensibilidad nominal de 10-9Am2). La desmagnetización por campos alternos (AF) se realizó utilizando un desmagnetizador de Molspin. Para algunos sitios, se encontró un pequeño componente secundario, probablemente de origen viscoso, que se elimina fácilmente con la aplicación de 10 mT (Fig. 3). Los campos de medio destructivo (MDF), están en el rango de 20 a 45 mT, lo que sugiere que son granos de dominio pseudo-único como portadores magnéticos.

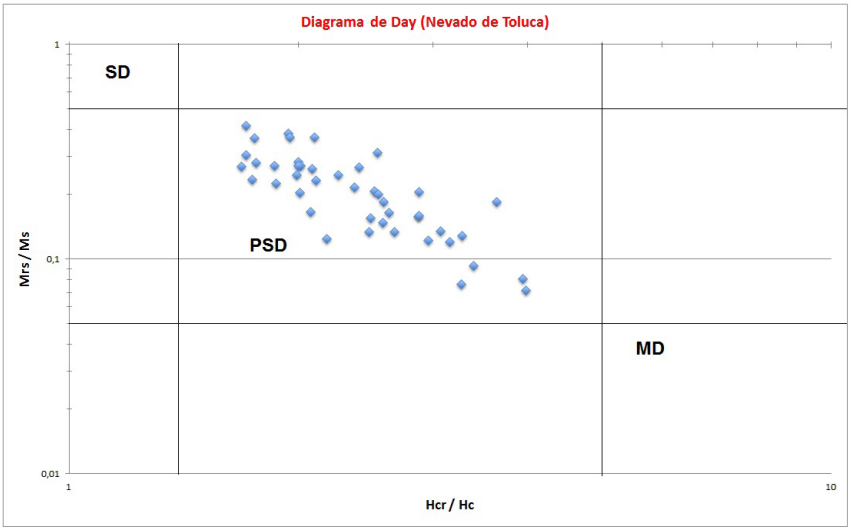

Figura 2. Diagrama de Day. Ms es la magnetización de saturación, Mrs es la magnetización remanente de saturación, Hc es la coercitividad, y Hcr es la fuerza coercitiva remanente. El diagrama se divide normalmente en regiones: dominio único (SD) para Mr/Ms> 0,5 y Hcr/Hc <1,5, multidominio (MD) para Mr/Ms <0,05 y Hcr/Hc> 4 y pseudo-dominio simple entre éstos (PSD).

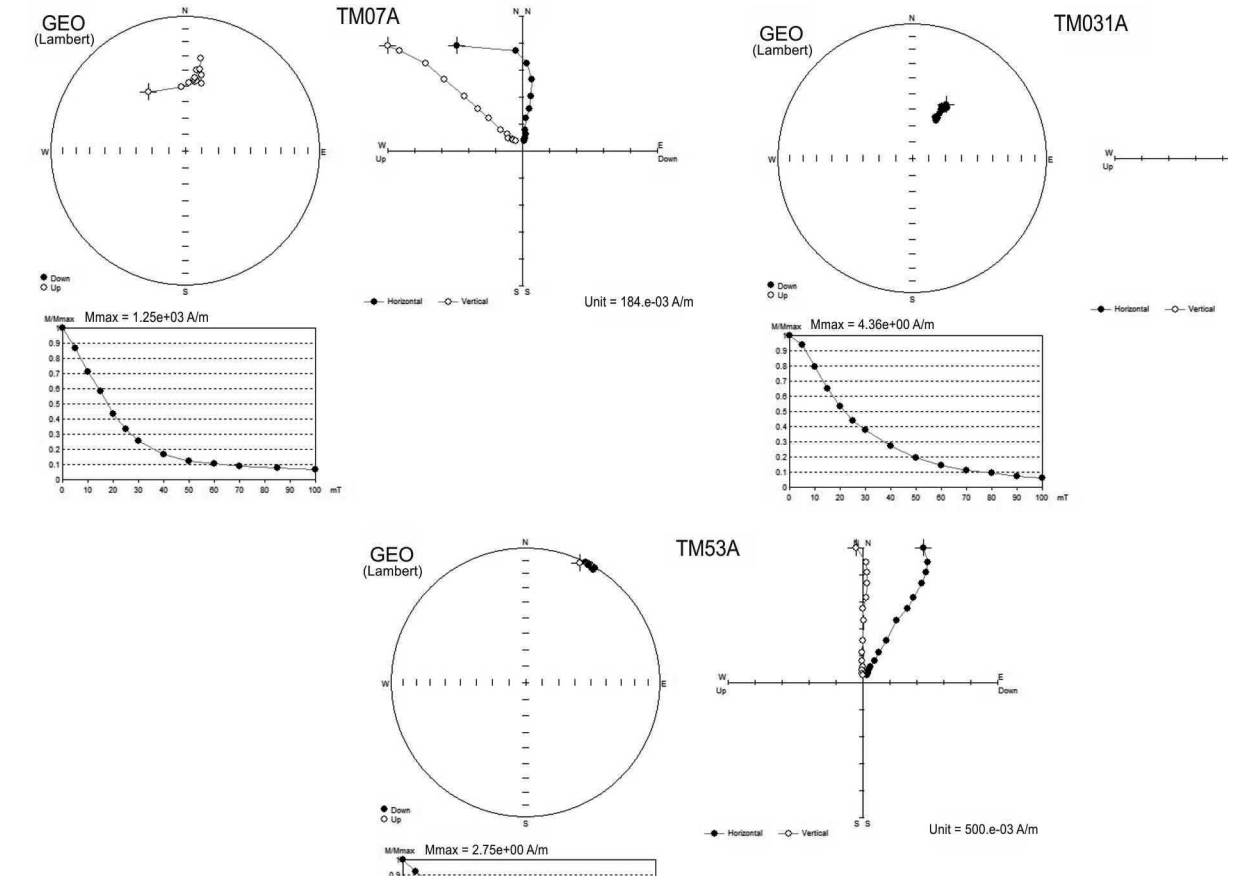

Figura 3. Ejemplos representativos de desmagnetización por AF. Estereogramas, proyección ortogonal (Zijderveld) y curvas de desmagnetización. Se observa una componente univectorial con tendencia al origen en el diagrama de Zijderveld, donde los círculos negros representan la componente horizontal y los blancos la vertical.

Para las muestras del volcán Nevado de Toluca las propiedades magnéticas muestran que los sitios estudiados tienen buena estabilidad, la mineralogía magnética presente en las muestras es titanomagnetita y/o magnetita, con dominio magnético preferencial PSD (el PSD indica un tamaño de grano regular entre 1-10 μm y una coercitividad relativamente alta), que proporciona una remanencia estable en el tiempo y representa

buenas condiciones para los estudios paleomagnéticos. En muestras piloto del volcán Santa Marta se tiene, principalmente, un comportamiento razonablemente lineal y componentes magnéticos estables. Una parte importante de la magnetización se elimina por encima de 20 mT, lo que probablemente señala la presencia de (titano) magnetita.

Referencias

Bowles, J.A., Jackson, M.J., Berquó, T.S., Sølheid, P.A., and Gee, J.S., 2013. Inferred Time-and Temperature-Dependent Cation Ordering in Natural Titanomagnetites: *Nat. Comm. 1-9*, doi:10.1038/ncomms2938.

Bowles, J. A., J. S. Gee, M. J. Jackson, and M. S. Avery, 2015. Geomagnetic paleointensity in historical pyroclastic density currents: Testing the effects of emplacement temperature and postemplacement alteration. *Geochem. Geophys. Geosyst. 16*, 3607–3625, doi:10.1002/2015GC005910.

Butler, R.F., 1998. PALEOMAGNETISM: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Department of Geosciences University of Arizona, Tucson, Arizona. Electronic Edition.

Day, R., Fuller, M. and Schmidt, V. A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain size and compositional dependence. *Phys. Earth Planet. Inter. 13*, 260 – 267.

Dunlop, D., Ö. Özdemir, 1997. Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers. Cambridge University Press, New York. 573 pp.

Jackson, M., J. A. Bowles, 2014. Curie temperatures of titanomagnetite in ignimbrites: Effects of emplacement temperatures, cooling rates, exsolution, and cation ordering. *Geochem. Geophys. Geosyst. 15*, 4343–4368, doi:10.1002/2014GC005527.