



ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO DETALLADO DE UN FLUJO DE LAVA DEL VOLCÁN XITLE MEDIANTE EL EMPLEO DEL PROTOCOLO “MULTI-SPECIMEN DOMAIN-STATE CORRECTED” (MSP-DSC)

Bravo, M.^{1*}, Camps, P.², Alva-Valdivia, L.¹, Poidrás, T.²

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

² Géosciences Montpellier, CNRS and Université de Montpellier 2, Montpellier, France.

*e-mail: abravo@igeofisica.unam.mx

ABSTRACT

The Xitle volcano is a monogenic volcano located at the southern part of Mexico City. Many paleomagnetic results have been obtained, so it is possible to compare magnetic properties in vertical profiles and along transects. We also compare previous absolute paleointensity determinations with the MSP-DSC protocol (Fabian and Leonhardt, 2010). The sampling was performed along a vertical profile through the entire thickness of the flow and along three horizontal transects (top, middle and bottom of the flow). The results show that there are some differences of magnetic minerals among the profiles and transects; vertical variations are associated to deuteric oxidation and the horizontal ones due to slight changes in mineralogy. Paleointensity studies show almost no difference between values from different profiles, all providing values of $F = 60.8 \pm 2.0 \mu\text{T}$. We obtained some ages by means of comparison of our results and the secular variation curves, with average values of $275 \pm 53 \text{ BC}$ and $38.8 \pm 60.5 \text{ BC}$ (ARCH3K.1), $114.5 \pm 68 \text{ BC}$ (CALS3K.3) and $48 \pm 27 \text{ BC}$ (SHA.DIF.14k) with 95% significance value. Most of these ages agree with the hypothesis of abandonment of Cuicuilco prehispanic site due probably to the eruption of the Xitle volcano.

Keywords: Xitle volcano, paleointensity determination, dating, Cuicuilco culture.

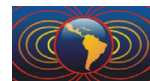
RESUMEN

El volcán Xitle se ubica al sur de la Ciudad de México. Se han realizado muchos estudios paleomagnéticos, lo que permite comparar propiedades magnéticas lo largo de transectos y perfiles y estudios previos de paleointensidad absoluta con el protocolo MSP-DSC (Fabian and Leonhardt, 2010). Realizamos un muestreo en un perfil vertical (en todo el espesor del flujo) y a lo largo de tres transectos horizontales (zonas superior, media e inferior del flujo). Los resultados muestran pequeñas diferencias entre los minerales magnéticos de cada perfil y transectos: las variaciones verticales se asocian a un proceso de oxidación deutérica y las horizontales a pequeñas diferencias en la cantidad de éstos minerales. Los resultados de paleointensidad muestran muy poca variación entre perfiles y el valor promedio del flujo es de $F = 60.8 \pm 2.0 \mu\text{T}$. Se obtuvieron edades por medio de la comparación entre nuestros resultados y las curvas de variación secular, con las que se obtienen valores promedio de $275 \pm 53 \text{ BC}$ y $38.8 \pm 60.5 \text{ BC}$ (ARCH3K.1), $114.5 \pm 68 \text{ BC}$ (CALS3K.3) y $48 \pm 27 \text{ BC}$ (SHA.DIF.14k) con 95% de valor significativo. Estas edades, son consistentes con la hipótesis del abandono del sitio de Cuicuilco debido probablemente a la erupción del volcán Xitle.

Palabras clave: Volcán Xitle, determinación de paleointensidad, cultura de Cuicuilco.

1. Introducción y objetivos

El objetivo general fue realizar un estudio paleomagnético detallado de un flujo de lava para obtener un valor confiable de paleointensidad del campo geomagnético. Para esto se propuso utilizar el nuevo procedimiento multi-espécimen corregido por el estado de dominio (MSP-DSC, por sus siglas en inglés). Se eligió un flujo de lava del volcán Xitle, en el campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México y



geológicamente dentro del Campo Volcánico Chichinautzin (CVC).

Como objetivos particulares se propusieron: a) Determinar las propiedades magnéticas de las muestras dentro del flujo y analizar su relación con la posición de los perfiles verticales y las transectos horizontales; b) Obtener resultados de paleointensidad con la finalidad de observar las variaciones en cada zona del flujo; c) Comparar el valor promedio con otros obtenidos por otros métodos, tales como: Thellier-Thellier, Shaw, y Microondas; d) Aportar datos de declinación, inclinación e intensidad a la curva de variación paleosecular de la región (PSV por sus siglas en inglés); e) Con base en estas curvas de PSV, calcular la edad de la erupción del volcán Xitle.

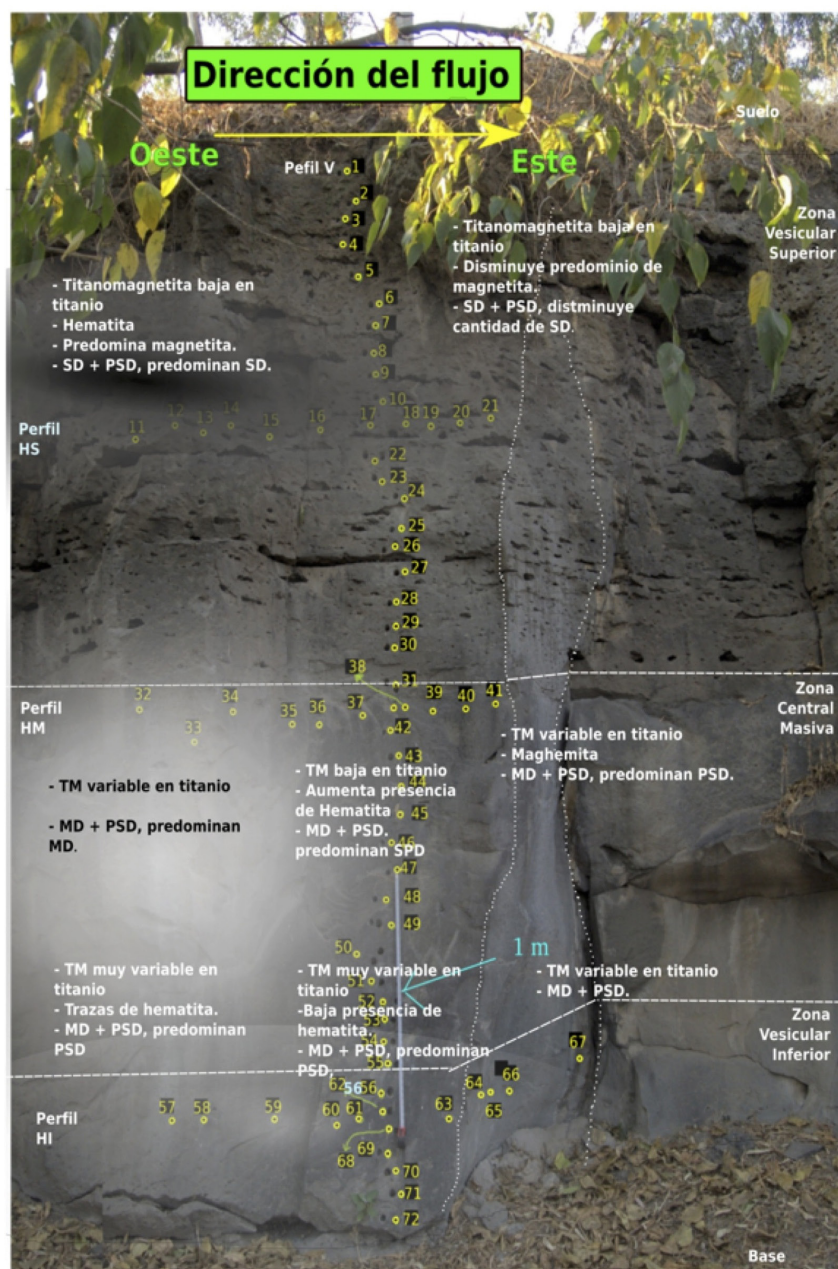
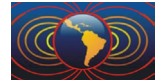


Figura 1. Síntesis de la mineralogía y tipo de dominios predominantes interpretados en este trabajo en cada zona del flujo RM, basado en las propiedades magnéticas. Líneas azules: perfiles horizontales. Línea roja: perfil vertical. Se muestran la posición de algunas muestras como referencia, la nomenclatura de las muestras se resume a los dos últimos dígitos. Se mencionan las zonas de acuerdo al grado de vesículas observadas en el flujo. Degradados de negro a blanco indican, de manera aproximada, los dominios SD, PSD a MD



2. Metodología y resultados

Se analizaron las propiedades magnéticas del perfil denominado RM del flujo del volcán Xitle al interior de Ciudad Universitaria (UNAM). Se obtuvieron 72 núcleos de un perfil vertical y tres transectos horizontales y se llevaron a cabo los siguientes experimentos:

1. Desmagnetización por campos magnéticos alternos a 10 especímenes; cuatro para el perfil V, dos para el HS, dos para el HM y dos para el HI. Análisis con el software Remasoft 3.0 de los diagramas vectoriales y curva de desmagnetización, para determinar la presencia de magnetización secundaria, temperatura de Curie, así como caracterización de minerales magnéticos.
2. Desmagnetización por térmica a 28 especímenes; quince para el perfil V, cuatro para el HS, cuatro para el HM y cinco para el HI. Análisis con el software Remasoft 3.0 de los diagramas vectoriales y curva de desmagnetización, para determinar la presencia de magnetización secundaria y para caracterizar los minerales magnéticos.
3. Susceptibilidad vs. temperatura a 8 especímenes; dos para el perfil V, dos para el HS, dos para el HM y dos para el HI. Análisis con el método de segunda derivada para obtención de temperatura de Curie y determinación de minerales magnéticos.
4. Histéresis e IRM a 10 especímenes; dos para el perfil V, tres para el HS, dos para el HM y dos para el HI. Análisis mediante diagrama de Day para la determinación de los dominios magnéticos.
5. FORC a 8 especímenes; tres para el perfil V, uno para el HS, dos para el HM y dos para el HI. Análisis a las gráficas de FORC con el software FORCinel para determinación de los dominios magnéticos.

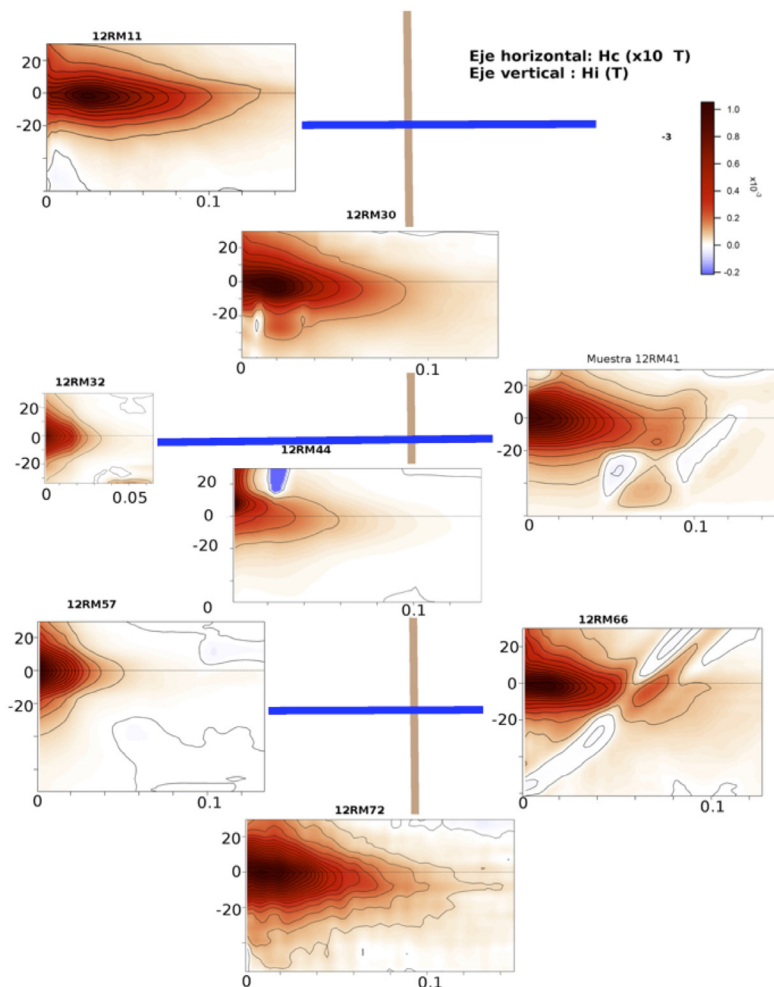
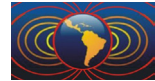


Figura 2. Diagramas de FORC representativos, se muestran a la misma escala. Los diagramas se presentan por perfil/transectos; las líneas azules indican las transectos horizontales y la línea roja el perfil vertical. La barra de colores indica el grado de densidad FORC. Se indican las unidades de los ejes vertical y horizontal ($10^{-3}T$).



De manera general estos análisis sugieren la presencia, en todo el flujo, de titanomagnetita con poca cantidad de titanio y predominancia de dominios pseudosencillos (PSD). Se detectaron diferencias en las propiedades magnéticas y de mineralogía en distintas partes de todos los perfiles y transectos, mismas que son resumidas en la Figura 1. En el perfil vertical se distinguen tres zonas sugeridas por un cambio en el tipo de dominios magnéticos: predominan dominios sencillos (SD) en la zona superior, PSD en la zona media, y pseudosencillos más multidominio (MD) en la zona inferior. Hay diferencias puntuales en el grado de oxidación deutérica: predomina titanomagnetita con poco titanio en la zona superior y se oxida para dar paso a titanomagnetita con contenido variable de titanio en las zonas media e inferior. Estos resultados son comparables a los reportados en estudios previos de distintos flujos. Los transectos horizontales muestran también cambios, tales como aumento en los dominios MD en el extremo izquierdo y mayor oxidación de la titanomagnetita original hacia el lado derecho (Fig. 2). La dirección característica se calcula fácilmente ya que los diagramas vectoriales muestran una ligera magnetización secundaria que puede ser eliminada con una temperatura menor o igual a 100°C o campos magnéticos menores a 20 mT.

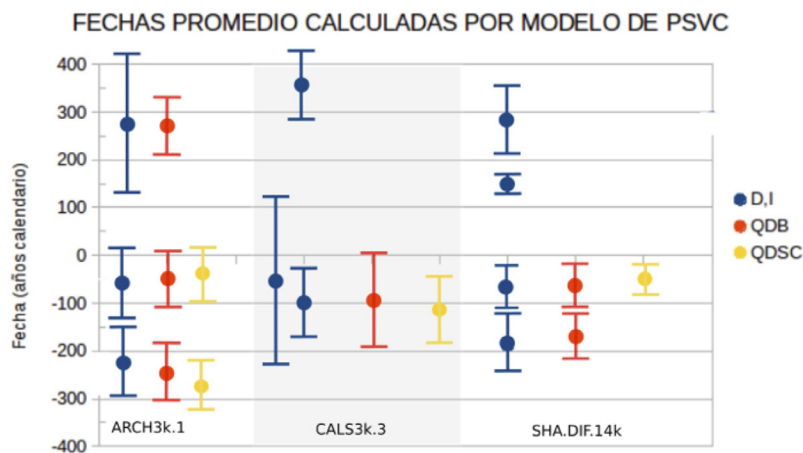


Figura 3. Fechas promedio calculadas a partir de las tablas del apéndice 3. Se muestran ordenadas por modelo de PSV y por el tipo de datos empleados en el cálculo: Declinación e Inclinação, y con los modelos de paleointensidad Q_{DB} y Q_{DSC} . Se observa que los valores se restringen a un intervalo de 200a.C a5 d.C. con el modelo Q_{DSC} .

Con base en los resultados de propiedades magnéticas decidimos determinar la paleointensidad por el método ‘Multiespécimen corregido por estado de dominios’ (MSP-DSC por sus siglas en inglés), y hacer una comparación con estudios previos. El método ‘Multiespécimen’ (Dekkers, Böhnell, 2006) original se aplicó a muestras de los cuatro perfiles y transectos, así como a diez muestras seleccionadas aleatoriamente provenientes de todas las partes del flujo. Se determinaron valores de paleointensidad para cada perfil y transectos (Tab. 1). El valor global de paleointensidad es de $60.8 \pm 2.0 \mu\text{T}$, similar al obtenido en trabajos previos.

Finalmente, a partir de datos direccionales y de paleointensidad, y apoyado con los modelos de variación paleosecular ARCH3k.1, SHA.DIF.14k y CALS3k.3, se obtuvieron edades para cada perfil y transectos mediante la versión actualizada del software Archaeomagnetic Dating (Pavón-Carrasco *et. al.*, 2011). Estas

Tabla 1. Valores de paleointensidad obtenidos mediante el protocolo Multiespecimen (QDB) y el protocolo modificado MSP-DSC (QDSC)

Perfil	Q_{DB} (mT)	Q_{DSC} (mT)	α
Horizontal Superior	65.3 ± 3.0	66.5 ± 1.1	0.25
Horizontal Medio	69.3 ± 6.3	60.8 ± 2.1	0.29
Horizontal Inferior	62.3 ± 3.7		
Vertical	58.0 ± 4.3		
Todos	63.4 ± 2.4	60.8 ± 2.0	0.5



edades (Fig. 3) dependen de cada perfil y transectos, del intervalo de error de los datos de dirección e intensidad, así como del modelo empleado. Para edades obtenidas con declinación e inclinación se agrupan en distintos intervalos, sin embargo predominan: 120 a 20 aC. y 250 a 350 dC. Para edades calculadas con los valores de paleointensidad (MSP-DSC): 276 ± 53 aC. y 38.8 ± 60.5 aC. (ARCH3k.1), 114.5 ± 68 aC. (CALS3k.3) y 48 ± 27 aC. (SHA.DIF.14k). Éstas fechas son similares a las obtenidas a partir de los datos de paleointensidad de trabajos previos en el volcán Xitle.

Referencias

- Dekkers, M., Böhnelt, H., 2006. Reliable absolute paleointensities independent of magnetic domain state. *Earth and Planetary Science Letters* 248, 508-517.
- Fabian, K., Leonhardt, R., 2010. Multiple-specimen absolute paleointensity determination: An optimal protocol including pTRM normalization, domain-state correction, and alteration test. *Earth and Planetary Science Letters* 297, 84-94.
- Pavon-Carrasco, 2011. A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *J. Archaeol. Sci.* 38, 408-419.