



ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO Y DE MAGNETISMO DE ROCAS DEL VOLCANISMO ANOROGÉNICO DEL MIOCENO MEDIO EN LA REGION SUR DE LA SIERRA LIBRE, SONORA, MÉXICO.

Lidio Pérez-Aguilar^{1*}, Jesús Roberto Vidal-Solano², Luis Manuel Alva-Valdivia³

¹ Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

² Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

³ Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Cd. de México, México.

*e-mail: lidgeolo@gmail.com

ABSTRACT

This paper reports the results of a paleomagnetic and rock magnetism study carried out in lava and pyroclastic flows belonging to the southern region of the Sierra Libre. Eight sites (57 oriented samples) corresponding to each of the lithological units that compose the stratigraphic section Urbalejo 1 (SEU1) were sampled, surveyed and measured in the Los Arrieros area. In the SEU1, which is mainly dominated by basaltic andesites, basalts and (islandites) trachytes, the base is characterized by a peralkaline ignimbritic unit, a key element in the Middle Miocene stratigraphy in NW of Mexico, named as Ignimbrita de Hermosillo / Toba de San Felipe (IGH-TSF). As a whole SEU1 possesses a transitional and tholeiitic chemical affinity.

Only in 8 sites was the natural remnant magnetization (NRM), one with intermediate polarity (lithic ignimbrite), four with normal polarity (basalts and basaltic andesites) and three with reverse polarity (IGH-TSF and basalt). The emplacement of the IGH-TSF is very likely to correspond to the C5Ar.1r inverted polarity subchron proposed in the geomagnetic polarity scale (Gee, Kent, 2007). Similarly, the NRM of the IGH-TSF presented in this work shows to be very similar with high precision paleomagnetic vectors of tectonically stable outcrops, suggesting that there is no significant rotation in the block containing the studied sequence. From this it is concluded that the data of the pyroclastic unit do not suggest hypothesis of great rotations in the vertical axis and / or latitudinal displacements.

Keywords: peralkaline ignimbrite, NW México

RESUMEN

En este trabajo se reportan los resultados de un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en flujos lávicos y piroclásticos pertenecientes a la región sur de la Sierra Libre. Se muestrearon 9 sitios (57 muestras orientadas) correspondientes con cada una de las unidades litológicas que componen la sección estratigráfica Urbalejo 1 (SEU1), levantada y medida en el área Los Arrieros. En la SEU1 que está dominada principalmente por coladas de andesitas basálticas, basaltos y traquitas (islanditas), destaca a la base una unidad ignimbritica hiperalcalina, clave dentro de la estratigrafía del Mioceno medio en el NW de México, nombrada como Ignimbrita de Hermosillo/Toba de San Felipe (IGH-TSF). En conjunto la SEU1 posee una afinidad química transicional y toleítica.

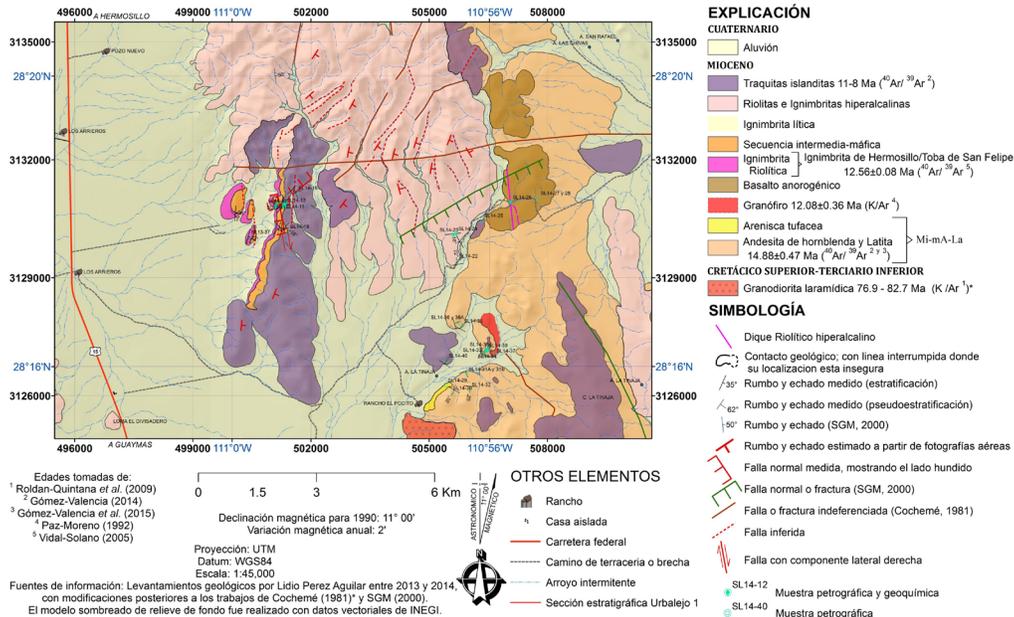
Solo en 8 sitios se determinó la magnetización remanente natural (MRN), uno resultó con polaridad intermedia (Ignimbrita lítica), cuatro con polaridad normal (basaltos y andesitas basálticas) y tres con polaridad inversa (IGH-TSF y basalto). El emplazamiento de la IGH-TSF muy posiblemente corresponda con el subcron de polaridad invertida C5Ar.1r propuesto en la escala de polaridad geomagnética (Gee, Kent, 2007). Similarmente, la MRN de la IGH-TSF presentada en este trabajo muestra ser muy similar con vectores paleomagnéticos de alta precisión de afloramientos tectónicamente estables, sugiriendo que no existe una rotación importante en el bloque que contiene la secuencia estudiada. De esto se concluye que los datos de la unidad piroclástica no sugieren hipótesis de grandes rotaciones en el eje vertical y/o desplazamientos latitudinales.



Palabras clave: ignimbrita hipercalcalina, NW de México

1. Introducción

La Región Sur de la Sierra Libre (RSSL) se localiza aproximadamente a 66 km al sur de Hermosillo, en el interior de la Provincia Extensional del Golfo (PEG), teniendo como puntos geográficos más importantes



Seccion Estratigrafica Urbalejo 1

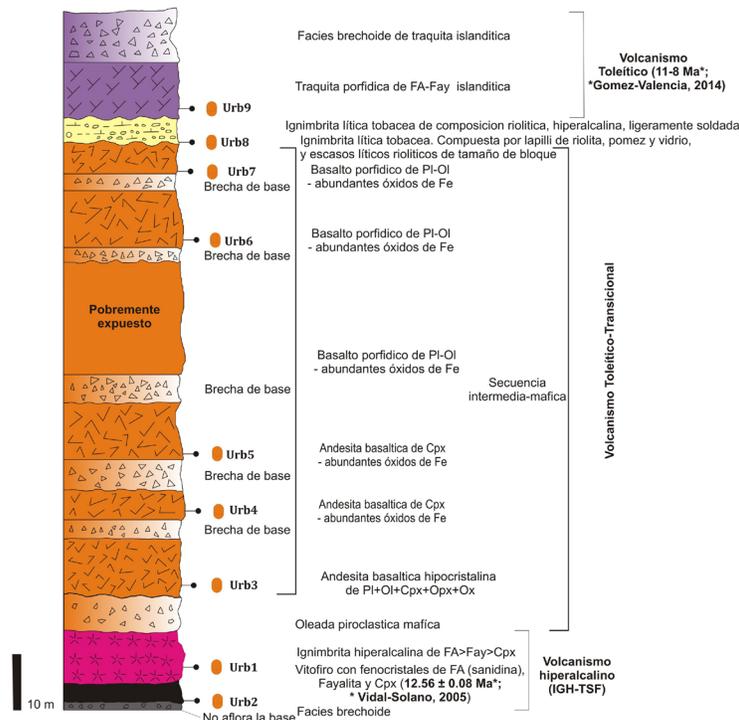


Figura 1. Mapa geológico del área Los Arrieros que muestra la localización de los puntos de muestreo paleomagnético dentro de la SEU1 (Pérez Aguilar, 2017).



a los poblados de Los Arrieros y Ortiz, en el estado de Sonora. En el presente trabajo se realizó un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas de las unidades litológicas que componen la SEU1, levantada y medida en el área Los Arrieros (LA; Fig. 1). La SEU1 está compuesta por unidades lávicas y piroclásticas que conforman una secuencia volcánica de afinidad química transicional y toleítica (Fig. 1). En esta secuencia del Mioceno Medio-Tardío (?), dominada principalmente por coladas de andesitas basálticas, basaltos y traquitas islandíticas, destaca a la base una unidad ignimbrítica hiperalkalina, índice dentro de la estratigrafía del Mioceno medio en el NW de México, nombrada como Ignimbrita de Hermosillo/Toba de San Felipe (IGH-TSF). Cabe hacer resaltar que el principal significado tectono-magmático de esta unidad hiperalkalina, de acuerdo con su distribución espacio-temporal, es que está relacionada con un episodio inicial del *Rift* del Proto-Golfo de California (Pérez Aguilar, 2017).

2. Motivación

La motivación para realizar el presente estudio paleomagnético fue intentar obtener, con un conjunto limitado de datos, un lapso temporal del magmatismo comprendido en la SEU1, y verificar si esta se encuentra *in situ*. Aunque la resolución es baja para un estudio piloto, los resultados de nuestra investigación paleomagnética suministran evidencias significativas.

3. Metodología

Las muestras paleomagnéticas fueron perforadas en campo usando una perforadora portátil y fueron orientadas *in situ* utilizando tanto brújula magnética como solar. Se muestrearon en total 9 sitios (57 muestras orientadas) pertenecientes a cada una de las unidades litológicas que componen la SEU1 (Fig. 1; Tab. 1).

Tabla 1. Datos paleomagnéticos y parámetros estadísticos según la Estadística Fisher corregida por inclinación de las direcciones medias de todos los sitios muestreados en el área de estudio*.

SITIO	LATITUD	LONGITUD	n/N	D	I	k	α_{95}	Pol.	VGP		AF/Th
									lat.	long.	
Urb1	28° 18' 12.9"	110° 59' 18.7"	3/5	213.4	-3.09	13	35.9	I	-48.5	53.8	AF
Urb2	28° 18' 9.9"	110° 59' 18.8"	4/4	197.2	11.92	124	8.3	I	-52.1	81.4	Th
Urb3	28° 18' 15.3"	110° 59' 17.3"	7/10	61.63	74.64	87	6.5	N	37.8	142.4	AF
Urb4	28° 18' 12.2"	110° 59' 12.0"	7/7	329.7	61.44	132	5.3	N	61.5	58.8	AF
Urb5	28° 18' 12.6"	110° 59' 11.0"	7/7	3.88	29.48	51	8.5	N	77.3	-87.2	Th
Urb6	28° 18' 14.5"	110° 59' 10.5"	10/10	55.84	36.13	68	5.9	N	38.8	-164.1	AF
Urb7	28° 18' 14.5"	110° 59' 10.5"	4/6	162.4	-32.95	13	26.7	I	-71	171.9	Th
Urb8	28° 18' 15.2"	110° 59' 10.8"	6/6	102.5	52.86	121	6.1	M	5.7	165	Th
Urb9	28° 18' 11.8"	110° 59' 9.7"	0/7	-	-	-	-	-	-	-	Th

En general cada sitio incluye de 4 a 9 muestras, y un sitio paleomagnético esta generalmente restringido a un solo nivel estratigráfico (*e.g.* una sola pseudocapa). La actitud estructural de las pseudocapas o estratos fue determinada para cada una de las unidades estratigráficas para realizar las correcciones estructurales subsecuentes a los análisis.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica de la UNAM. Se prepararon dos o más especímenes de tamaño estándar (2.5 cm de diámetro y 2.2 cm de largo) de cada núcleo, por medio de una cortadora de motor estacionaria, que usa dos discos diamantados y un sistema de enfriamiento a base de agua para lubricar. La mayoría de las muestras fueron sujetas a desmagnetización térmica (usando un desmagnetizador térmico no magnético TSD-1) y a desmagnetización por campos



magnéticos alternos (usando un desmagnetizador Molspin Limited de AF que proporciona campos de hasta 100 mT), a temperaturas de hasta 600° C o inducciones máximas de 100 mT, respectivamente. Para la medición de la magnetización remanente natural (MRN) se utilizó tanto un magnetómetro Spinner JR5 (sensibilidad $\sim 10^{-9}$ Am²), como uno de giro tipo AGICO-JR-6 (dual speed spinner magnetometer). Con el fin de identificar a los portadores de la magnetización remanente se efectuaron mediciones de la variación de la susceptibilidad vs. temperatura (curvas k-T) en campo cero y en aire; esta prueba se realizó con un susceptibilímetro highmoore equipado con un horno. Por último, se realizaron experimentos de histéresis magnética con un magnetómetro de fuerza con gradiente alterno, AGFMMicromag. Seleccionamos un fragmento de roca con un peso de 20 a 30 mg (uno por sitio) para efectuar estos experimentos en temperatura ambiente y hasta un campo máximo de 1.2 T.

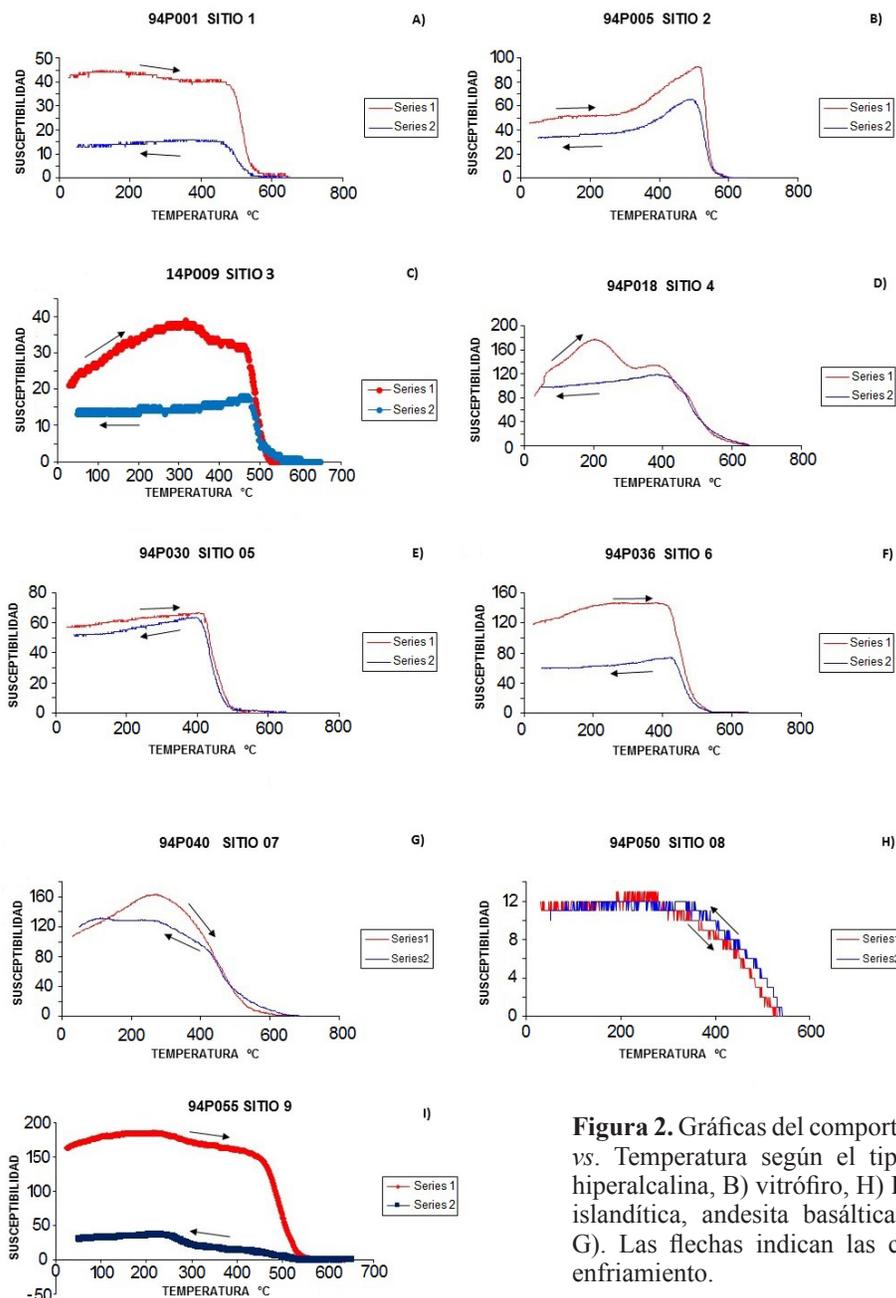
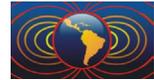


Figura 2. Gráficas del comportamiento de Susceptibilidad vs. Temperatura según el tipo de roca: A) Ignimbrita hiperalcalina, B) vitrófiro, H) Ignimbrita lítica, I) traquita islandítica, andesita basáltica (C, D, E) y basalto (F, G). Las flechas indican las curvas de calentamiento y enfriamiento.



4. Resultados

4.1 Susceptibilidad Vs. Temperatura

Los gráficos de susceptibilidad vs. temperatura revelan que los minerales portadores de la ChRM son en su mayoría titanomagnetita muy escasa en Ti (punto de Curie de 580°C ; Figuras 2A, B, E, F y H) y una mezcla de titanomagnetita pobre en titanio y magnetita (Figuras 2C, D, G e I; curvas de calentamiento-enfriamiento irreversibles). Algunas muestras presentan, en el análisis termomagnético (k -T) contenido de titanomaghemita (Figs 2D, G e I; punto de inflexión en la curva de calentamiento a la temperatura de 200 - 300°C) que indicaría que posiblemente estas muestras fueron afectadas por oxidación de baja temperatura.

Por último, algo bastante notorio que se puede observar en el sitio 9, es que por un lado, mientras la curva de calentamiento es característica de una titanomagnetita, por el otro, este mineral sufre una transformación y lo observamos en el desplome del valor de la susceptibilidad en la curva de enfriamiento, este rasgo lo podemos atribuir a la transformación de la magnetita a hematita.

4.2 Ciclos De Histéresis

Las pruebas de los ciclos de histéresis muestran una buena simetría en la mayoría de los casos (80 % de todos los sitios estudiados), y sin comportamientos del patrón conocido como “cintura de avispa” (Figs. 3a, c y d), lo cual probablemente refleja rangos muy restringidos de coercitividades para minerales opacos,

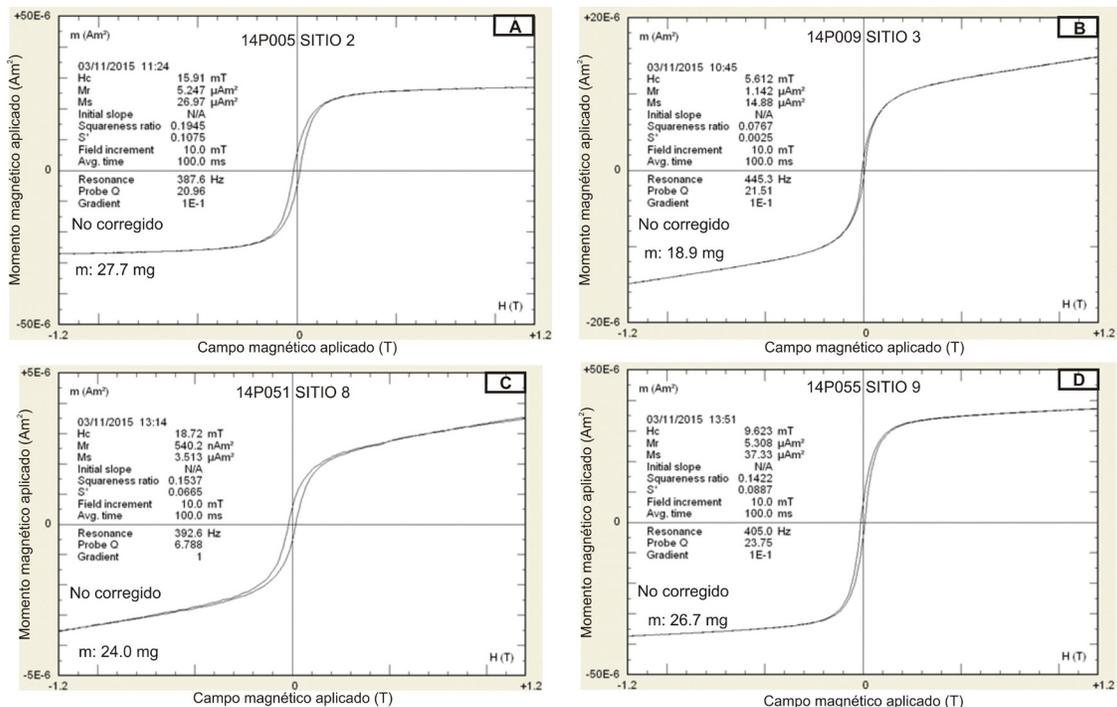
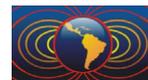


Figura 3. Ciclos de histéresis que muestran los comportamientos de todos los sitios del área de estudio.

o dicho en otras palabras, que implique la nula aparición de minerales de alta coercitividad como son los pertenecientes a las series mineralógicas de la serie titano-hematita. Únicamente para el Urb3 la forma mostrada por el ciclo de histéresis se asemeja muy discretamente y en una vista a detalle al origen, al patrón en “cintura de avispa” (*wasp-waisted*; Fig. 3c), lo cual posiblemente sea resultado de una contribución de SD con SP de magnetita y una ligera aportación de PSD.



4.3 Magnetizaciones primarias y direcciones medias

Consideramos que las direcciones paleomagnéticas características determinadas en este estudio son de origen primario y se interpretan como adquiridos por procesos MTR debido a su alta estabilidad (en la mayoría de los sitios). Más del 60% de los diagramas ortogonales de desmagnetización presentaron un comportamiento preferentemente unidireccional y un 25 % bidireccional, implicando dos componentes de magnetización. Dichas direcciones se consideran bien definidas y se interpretan como derivadas de una Magnetización Remanente grabada durante el enfriamiento asociado al emplazamiento de dichas unidades lávicas y piroclásticas.

La relación de direcciones medias por sitio está representada en la Tabla 1, donde se observan 4 polaridades normales, 3 polaridades inversas, un sitio con polaridad intermedia, y otro sitio que no se consideró dado que no se pudo determinar su dirección media. De los 9 sitios muestreados 2 pertenecen al evento piroclástico del Mioceno Medio que originó la IGH-TSF, del cual las polaridades encontradas son inversas de baja inclinación. Para el evento efusivo y piroclástico (en menor grado) del Mioceno Medio-Tardío (?) corresponden 7 sitios, 5 sitios pertenecen a la Secuencia Intermedia-Máfica, de los cuales 4 presentan polaridad normal y uno inversa; 1 sitio con polaridad intermedia (Ignimbrita Lítica) y un último de la Traquita islandítica que fue descartado de la estadística final.

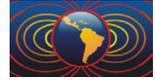
4.4 Correlación con la Escala de Polaridad Geomagnética

El resultado de la magnetoestratigrafía realizada en parte de la SEU1 puede acotar la edad de la IGH-TSF y la Secuencia Intermedia-Máfica entre 12.678 - 12.078 Ma dentro del Serravaliano, que corresponde a los subcronos de polaridad inversa C5Ar.1r y C5An.1r respectivamente, junto con el subcron de polaridad normal C5An.2n delimitado entre estos. Empero, no puede descartarse que quizás alcance el Tortoniano debido a que el resto de la sección no pudo arrojar datos magnetoestratigráficos favorables, sobre todo la cima considerada del Mioceno Tardío (11 – 8 Ma; sitio Urb9).

5. Conclusiones

Los resultados de la Magnetización Remanente de la IGH-TSF presentados en este trabajo muestran ser casi iguales a los reportados en la literatura para vectores paleomagnéticos de alta precisión de afloramientos tectónicamente estables, sugiriendo que no existe una rotación importante en el bloque que contiene la secuencia estudiada. Bajo esta apreciación se valida la confiabilidad de dichos resultados. De esto se concluye que los datos de la unidad piroclástica no apoyarían hipótesis de grandes rotaciones en el eje vertical y/o desplazamientos latitudinales.

En general para el evento post-subducción del área estudiada no se lograron coleccionar datos suficientes para poder llegar a un resultado concluyente para todo el mencionado evento que va de los 12.5 a los 8 Ma (?), lapso durante el cual la península de Baja California aun formaba parte de la placa de Norteamérica. Los resultados presentan una alta dispersión dada la escasez de datos (sitios), se observaron 4 sitios con polaridad normal y 3 con polaridad inversa, sin embargo no fue posible establecer una dirección media definitiva de alta resolución, para el cálculo del polo(s) paleomagnético(s) del área, y su consecuente verificación de discordancia o concordancia con su(s) correspondiente(s) en la curva de vagabundeo polar aparente de Norte América. A pesar de ello, los resultados obtenidos especialmente para la ignimbrita IGH-TSF permitieron compararse confiadamente con vectores de referencia paleomagnética de alta precisión y de localización tectónicamente estable correspondientes con la Toba de San Felipe, aflorante en Baja California.



Agradecimientos:

Este trabajo es una síntesis y adecuación del capítulo de Paleomagnetismo de la tesis de maestría del primer autor y forma parte del proyecto de Ciencia Básica CONACYT #180784: “Evolución Geodinámica del Proto-Golfo de California: Énfasis en los vestigios volcánicos del Mioceno en Sonora, México”, a cargo del Dr. Jesús Roberto Vidal Solano, mismo que financió la estancia de investigación paleomagnética en la UNAM. Se agradece también, tanto el apoyo técnico del M.C. José Antonio González Rangel como el de mis compañeros Ángel Olguín Villa (en campo), Bernardo García Amador, Alejandro Rodríguez Trejo y Agustín Delgado Ángeles, este último por su disposición y acompañamiento durante dicha estancia.

Referencias

- Gee, J.S., Kent, D.V., 2007. Source of oceanic magnetic anomalies and the geomagnetic polarity timescale, *In* Kono, M. (ed.), *Geomagnetism, v. 5 of Treatise on Geophysics*: Amsterdam, Elsevier, 455-507.
- Pérez Aguilar, L., 2017. Evolución tectono-magmática en la región sur de la Sierra Libre, Sonora, México, y su relación con el Proto-Golfo de California durante el Mioceno Medio-Tardío. Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, México, 320 pp.