

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

REVALUACIÓN DE LA CRONOLOGÍA DE ERUPCIONES DEL VOLCÁN VESUBIO (ITALIA) A PARTIR DE 79 A. D.

Reassessment of the Eruptive Chronology of Italy's Vesuvius Volcano from AD 79 to 1906

Jaime Urrutia-Fucugauchi, Avto Goguitchaichvili,**
Ligia Pérez-Cruz,* Juan Morales***

* Departamento de Geomagnetismo y Exploración, Instituto de Geofísica, UNAM, México;

** Servicio Arqueomagnético Nacional (SAN), Instituto de Geofísica, UNAM, México



Figura 1. Vista del volcán Vesubio desde el sitio arqueológico de Herculano, que fue sepultado por flujo piroclástico y cenizas durante la erupción de 79 A. D.

RESUMEN. El volcán Vesubio se caracteriza por numerosas erupciones, separadas por periodos de baja actividad, en un área densamente poblada que incluye los centros de Pompeya y Herculano y, ac-

Recibido: 20-1-2016. Aceptado: 27-1-2016. Publicado: 3-2-2016.

tualmente, Nápoles. Los estudios vulcanológicos y arqueológicos han requerido, entre otros datos y observaciones, determinar la frecuencia y la naturaleza efusiva o explosiva de las erupciones empleando técnicas de datación y la construcción de una cronología de alta resolución. En este estudio se analizan 14 flujos de eventos eruptivos en el periodo de 79 a 1906 A. D., para los cuales presentamos nuevas dataciones arqueomagnéticas usando el modelo geomagnético SHA.DIF.14k. Las direcciones paleomagnéticas de los flujos se correlacionan con la curva de variación secular, permitiendo reevaluar la cronología eruptiva del Vesubio.

PALABRAS CLAVE: *arqueomagnetismo, volcán Vesubio, curva de variación secular geomagnética, cronología eruptiva.*

ABSTRACT. *Vesuvius Volcano, located in a densely populated area including the cities of Pompeii, Herculaneum and now Naples, is characterized by numerous eruptions separated by periods of quiescence. Information on the frequency and nature of this activity is critical for both volcanological and archaeological studies. Dating techniques in tandem with historical records can provide a high resolution chronology for Vesuvius' eruption history. In this study, we analyze paleomagnetic data from 14 lava flows dating between AD 79 to 1906 using the recently developed SHA.DIF.14k geomagnetic model. We correlate the paleomagnetic directions of the flows with a new secular variation curve, resulting in a reassessment of the eruptive chronology of Vesuvius.*

KEYWORDS: *Archaeomagnetism, Vesuvius Volcano, secular variation curve, eruptive chronology.*

INTRODUCCIÓN

El Vesubio se ha caracterizado por numerosas erupciones, separadas por periodos de inactividad, en un área densamente poblada que actualmente incluye la ciudad de Nápoles. La erupción del volcán Vesubio en el 79 A. D. afectó a un área extensa, cubriendo los centros de Pompeya y Herculano (fig. 1; Arnó *et al.* 1987; Giacomelli *et al.* 2003). La cubierta de flujos piroclásticos y las cenizas permitieron la preservación de registros arqueológicos, cuyo estudio ha requerido integrar diferentes métodos y especialistas. Los estudios han requerido, en-

tre otros datos y observaciones, determinar la frecuencia y naturaleza efusiva o explosiva de las erupciones, para lo que se han empleado varias técnicas de datación como radiocarbono, hidratación de obsidianas, Ar/Ar y trazas de fisión. Unas de las limitaciones en la construcción de cronologías de alta resolución han sido las incertidumbres analíticas asociadas, lo que ha generado interés en el uso de alternativas como la datación arqueomagnética. Esta técnica aprovecha la variación secular del campo geomagnético y los sistemas de registro de materiales arqueológicos y naturales, determinando la dirección de la magnetización en rocas volcánicas, cerámicas y materiales quemados; y correlacionando estos datos con una curva de referencia. Las incertidumbres en los métodos arqueomagnéticos conjuntan las relacionadas con el registro y medición de la magnetización y la resolución de la curva. En los últimos años se ha invertido considerable esfuerzo en determinar curvas de referencia con alta resolución en diferentes regiones. Con estos nuevos desarrollos se tiene la necesidad de reevaluar estudios anteriores, en particular aquellos en que se tienen inconsistencias y baja precisión y la posibilidad de fechar otros elementos no investigados previamente. Este es el caso de la cronología eruptiva del volcán Vesubio que se analiza en este trabajo.

LA CONTROVERSIA

Somma-Vesubio es uno de los complejos volcánicos con alto riesgo en el sur de Italia, caracterizado principalmente por actividad explosiva con flujos piroclásticos producto de erupciones plinianas. Su historia eruptiva ha sido documentada a partir de registros históricos desde el 79 A. D. Teniendo en cuenta la proximidad a zonas urbanas densamente pobladas alrededor del complejo, esta es una región que requiere evaluaciones de los niveles de riesgo (probabilidad de ocurrencia de desastres en escalas espacio-temporales de alta resolución; Ismail-Zadeh *et al.* 2014). Varios estudios se han enfocado a caracterizar los eventos volcánicos y determinar la secuencia de erupciones, pero aún persisten desacuerdos referentes a la cronología eruptiva y naturaleza de las erupciones. Por ejemplo, la «gran erupción» de 1631 A. D. ha sido considerada por Le Hon (1865) como el principal evento explosivo y efusivo en tiempos históricos. Esta propuesta es apoyada en trabajos subsecuentes de Burri y Di Girolamo (1975) y Rolandi y Russo (1993). En contraste,

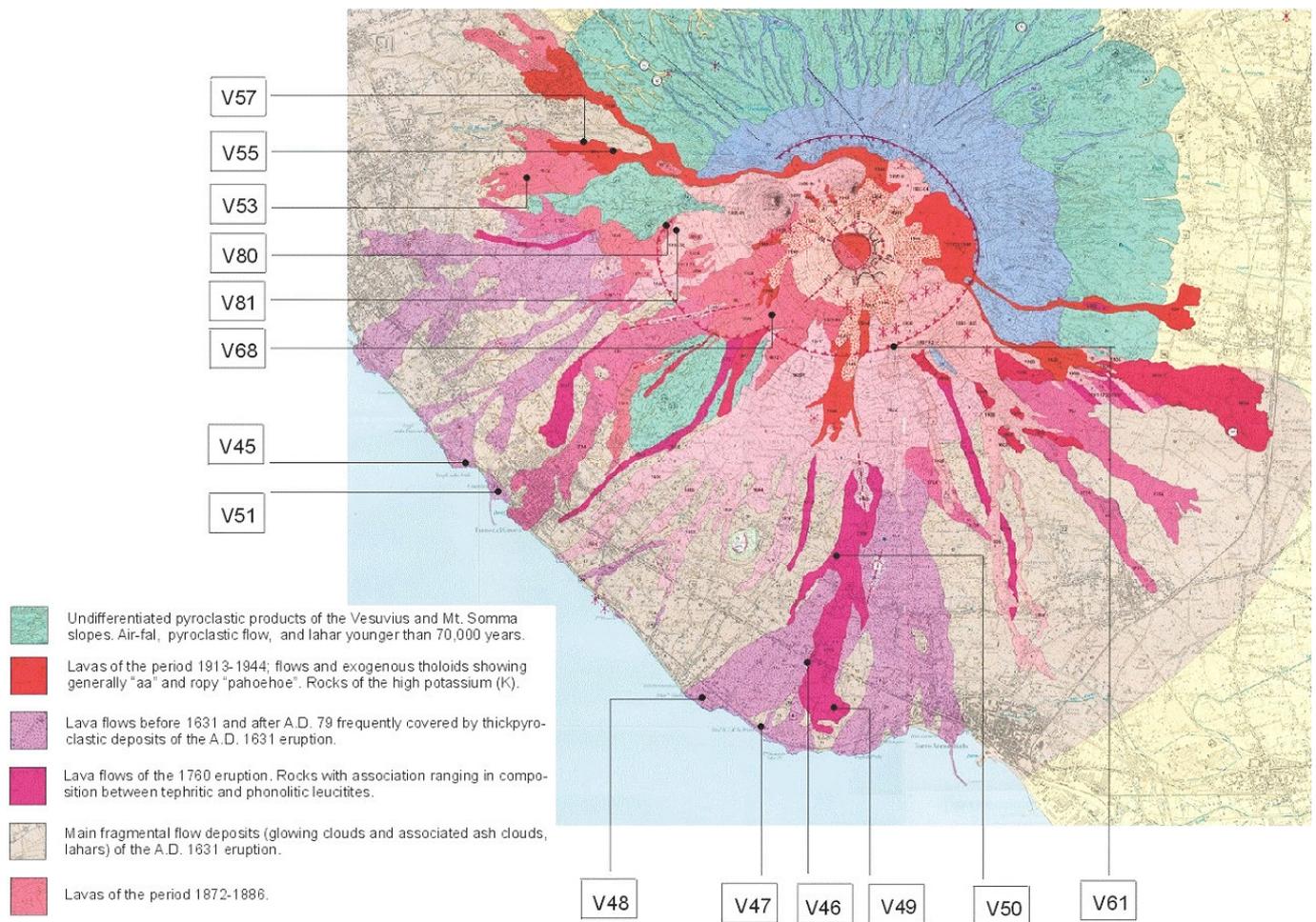


Figura 2. Mapa geológico simplificado del complejo volcánico Somma-Vesubio. La localización de los flujos de lava investigados es indicada por los círculos negros y la identificación del sitio.

otros estudios de Rosi y Santacroce (1986) y Arnó *et al.* (1987) consideran esta erupción de carácter explosivo —es decir, sin lavas— y atribuyen las lavas asociadas al evento de 1631 a erupciones anteriores que se produjeron entre el 968 y 1037 A. D.

El caso del evento de 1631 A. D. no es la única erupción en la controversia; hay varias unidades volcánicas sin fechar o con incertidumbre en su edad, algunas de las cuales son identificadas en el mapa geológico del complejo volcánico Somma-Vesubio (fig. 2).

TRABAJO PREVIO

Conte-Fasano *et al.* (2006a) estudiaron las direcciones de magnetización remanente y propiedades magnéticas de 14 flujos de lava (fig. 2) de edad desconocida. En el estudio, los datos paleomagnéticos de diez flujos fueron correlacionados con el segmento inicial de la curva de variación secular italiana del siglo XVII, lo que permitió estimar las edades de las erupciones. Los resultados para los otros cuatro si-

tios dieron direcciones medias distintas que no pudieron ser correlacionadas con sectores de la curva de referencia, dentro de los posibles periodos de actividad del volcán. Conte-Fasano *et al.* (2006a, 2006b) propusieron que 3, y posiblemente hasta 11, de los flujos estudiados se correlacionan con el segmento de la curva correspondiente al siglo XVII y podrían corresponder a la erupción de 1631 A. D., dentro de las incertidumbres asociadas (tabla 1). Los resultados apoyan que este evento se puede considerar como una erupción explosiva-efusiva. Análisis de registros históricos de Guidoboni y Boschi (2006) han indicado posible actividad efusiva unos 60 años antes de la erupción de 1631 A. D., lo que abre interpretaciones alternas a evaluar en la correlación con la curva de variación secular.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Como la mayoría de los materiales volcánicos y arqueológicos contienen partículas magnéticas, es-

Tabla 1. Datos arqueomagnéticos y cronología revisada.

Sitio	Edad Estimada	n/N	Dec (°)	Inc (°)	α_{95} (°)	k	Este Estudio
	Conte (2006)						A.D.
V-45	1631	7/9	7.4	66.7	2.4	611	(718-835),(1609-1651)
V-47	1631	9/13	11.5	61.6	1.5	1124	(823-896),(1463-1614)
V-48	1631	10/15	13.8	65.1	2.6	340	(751-885),(1539-1632)
V-51	1631	11/12	15.9	64.6	0.7	3863	(824-910),(1549-1634)
V-46	1760	9/13	341.7	62.6	1.6	1085	1758-1768
V-49	1760	9/16	347.5	63.3	1.3	1569	1731-1768
V-50	1760	9/15	344.0	61.4	2.5	409	1757-1822
V-53	1872	11/15	348.5	56.4	0.9	2320	1864-1888
V-55	1872	8/12	347.6	54.4	1	2950	1861-1882
V-57	1872	11/13	347.5	57.6	1.1	1750	1844-1870
V-80	1858	11/13	345.3	56.0	1.7	725	1843-1882
V-61	1906	7/12	357.5	52.5	0.9	4306	111-390
V-68	1872/1886	8/12	345.2	59.2	1.9	862	1800-1847
V-81	1858/1895	9/12	347.9	59.8	1.1	2044	1806-1841

tos pueden ser empleados en diversos estudios. Una de las principales propiedades es que estos materiales pueden adquirir una remanencia a un tiempo específico. Como el campo geomagnético cambia en dirección e intensidad con el tiempo (variaciones seculares), el momento de adquisición de la magnetización remanente puede determinarse mediante la comparación de estos parámetros con los registros del campo geomagnético en localidades específicas. Cuando las variaciones del campo han sido bien establecidas, la datación arqueomagnética tiene resolución comparable a los métodos de datación radiométrica.

La actividad del volcán Vesubio ha sido registrada a partir de la erupción pliniana del 79 A. D. (Arnó *et al.* 1987; Giacomelli *et al.* 2003). Se han reporta-

do resultados arqueomagnéticos en varios estudios (Incoronato *et al.* 2002; Principe *et al.* 2004), que han permitido ampliar la cronología e investigar la naturaleza efusiva o explosiva de los eventos. Este aspecto de la actividad efusiva y alcance de los flujos ha sido particularmente difícil de establecer y es ejemplificado en la cartografía geológica y en las excavaciones (fig. 2). La discusión abarca erupciones con observaciones directas y periodos de inactividad como el que antecede a 1631 A. D. (Rosi y Santacroce 1986; Guidoboni y Boschi 2006).

En este estudio reportamos nuevas dataciones arqueomagnéticas usando el modelo geomagnético SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.* 2014), considerado de mayor resolución en la variación del campo geomagnético en los últimos 14.000 años

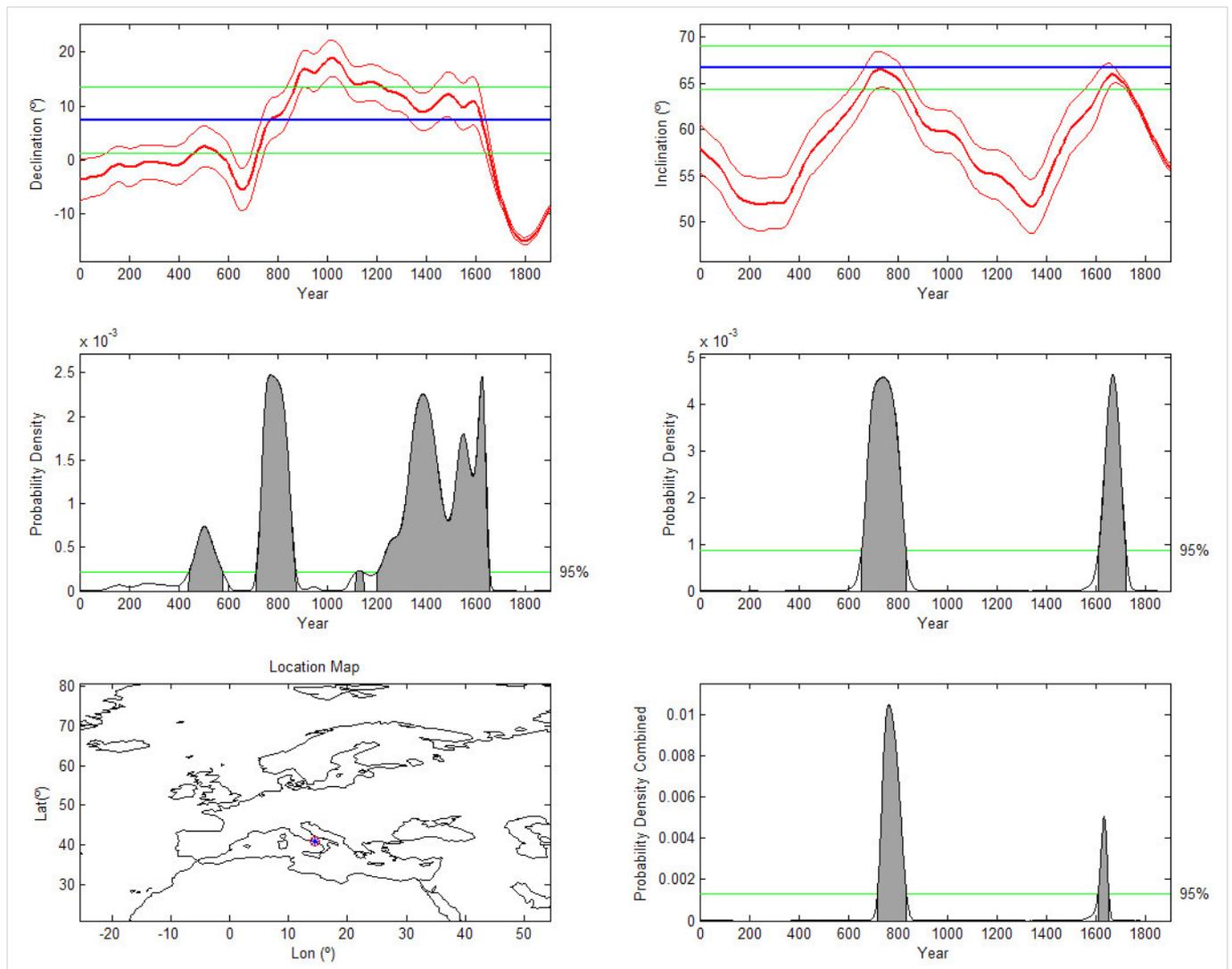


Figura 3. Resultado de la datación arqueomagnética del flujo de lava V-45 (ver tabla 1 y fig. 2): a) curvas maestras con las bandas de incertidumbre asociadas de declinación e inclinación (en rojo) y los datos arqueomagnéticos analizados (en azul) en función del tiempo (en años A. D.); las líneas en verde claro indican los niveles de corte al nivel de probabilidad asignado; b) determinaciones de la densidad de probabilidad en los segmentos correspondientes a la correlación con la curva de variación secular; c) mapa esquemático con la localización del sitio y la gráfica de densidad de probabilidad combinada de declinación e inclinación.

para la región europea. El modelo se construye en la distribución espacial de datos de la base GEOMAGIA50v2 por análisis de armónicos esféricos y temporalmente con *splines*, y ha sido evaluado con los modelos global y europeo. El modelo muestra que el campo geomagnético en los últimos 2000 años se ajusta a un dipolo axial, con un error de 5°.

Entre las implicaciones para los estudios arqueomagnéticos, resalta la necesidad de evaluar los datos obtenidos con curvas de referencias anteriores. Los resultados derivados de las nuevas dataciones y las estimaciones previas de Conte-Fasano *et al.* (2006a) se reportan en la tabla 1. En las figuras 3 y 4 se muestran las correlaciones de los datos paleomagnéticos (declinación e inclinación) con el

modelo geomagnético, que cuantifican las edades de los flujos.

CONCLUSIONES

El análisis con el modelo SHA.DIF.14k de las edades obtenidas con las estimaciones reportadas previamente permite concluir lo siguiente:

1. La correlación de las direcciones paleomagnéticas para los flujos de lava previamente asociados a la erupción de 1631 A. D. no es confirmada usando la curva de variación secular de Pavón-Carrasco *et al.* (2014). Las nuevas estimaciones, que requieren de análisis y estudios adicionales, sugieren tanto el intervalo entre ~1600 y 1650 A. D. como entre ~800 y 1000 A. D.

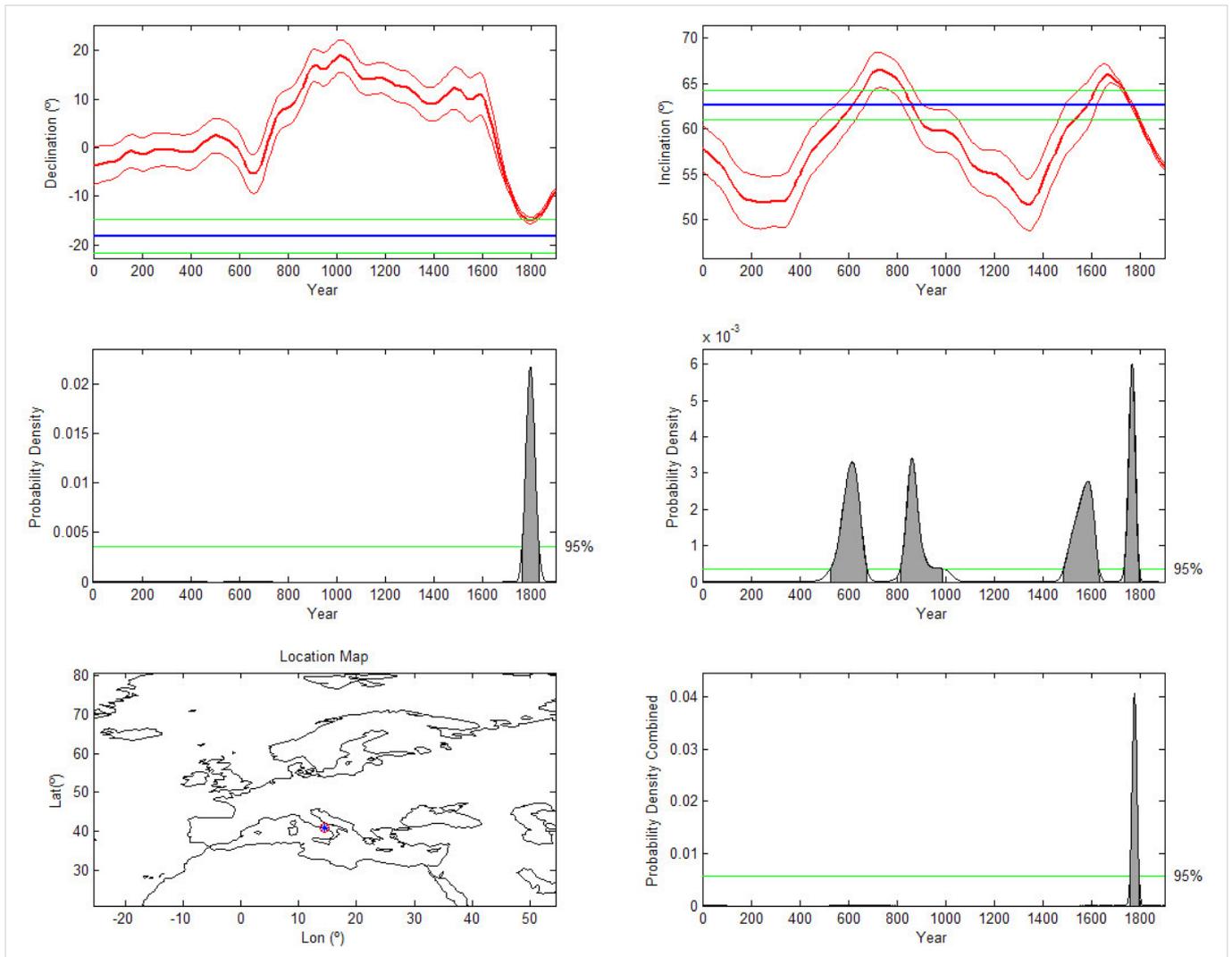


Figura 4. Resultado de la datación arqueomagnética del flujo de lava V-46 (ver tabla 1 y fig. 2).

2. La correlación de las direcciones paleomagnéticas de las lavas de las erupciones de 1760 y 1872 A. D. es confirmada con los análisis usando la nueva curva de variación secular. Estos flujos se corresponden con los intervalos propuestos.

3. La lava atribuida a la erupción de 1906 A. D. podría corresponder a un evento efusivo anterior, posiblemente entre ~111 y 390 A. D.

4. Los resultados ilustran las incertidumbres asociadas a la datación arqueomagnética y la necesidad de integrar análisis cuantitativos e información de otras técnicas.

Sobre los autores

JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI es Ingeniero Geofísico y Maestro en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México. Se doctoró en la Escuela de

Física de la Universidad de Newcastle upon Tyne, Inglaterra. Áreas de interés: paleomagnetismo, exploración geofísica, tectónica, paleoclimas, meteoritos y cráteres de impacto. Es Investigador Titular en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Correo electrónico: juf@geofisica.unam.mx.

AVTO GOGUITCHAICHVILI (avto@geofisica.unam.mx) es Licenciado en Física por la Universidad Estatal de Tbilisi (República de Georgia), Maestro y Doctor en Geofísica con especialidad en geomagnetismo por la Universidad de Montpellier, Francia. Actualmente es Investigador Titular del Instituto de Geofísica, Campus Morelia de la UNAM, y corresponsable del Servicio Arqueomagnético Nacional (SAN): < <http://www.geofisica.unam.mx/michoacan/san/> >.

LIGIA PÉREZ CRUZ (perezcruz@geofisica.unam.mx) es Bióloga con Maestría y Doctorado en Oceanografía Geológica por la UNAM. Actualmente es Investigador Titular y Jefe del Departamento de

Geomagnetismo y Exploración Geofísica de la UNAM. Áreas de interés: paleoceanografía, paleoclimas, geoquímica, magnetismo, micropaleontología y geoquímica.

JUAN MORALES (jmorales@geofisica.unam.mx) es Licenciado en Física, Maestro y Doctor en Geofísica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Entre sus líneas de investigación destaca el arqueomagnetismo, con contribuciones importantes tanto en Mesoamérica como en otras partes del mundo. Actualmente es responsable del Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA) y responsable del Servicio Arqueomagnético Nacional.

REFERENCIAS CITADAS

- ARNÓ, V., C. PRINCIPE, M. ROSI, R. SANTACROCE, A. SBRANA, M. F. SHERIDAN. 1987. Eruptive history. En *Somma-Vesuvius*, editado por R. Santacroce, pp. 53-103. *CNR Quaderni de La Ricerca Scientifica* 114.
- BURRI, C., P. DI GIROLAMO. 1975. Contributo alla conoscenza delle lave della grande eruzione del Vesuvio del 1631. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia (Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.)* 30: 705-739.
- CONTE-FASANO, G., J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, A. GOGUITCHAICHVILI, A. INCORONATO. 2006a. Paleomagnetic dating of lava flows of uncertain age, Somma-Vesuvius volcanic complex (Southern Italy). *International Geology Review (Int. Geol. Rev.)* 48/4: 349-359.
- CONTE-FASANO, G., J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, A. GOGUITCHAICHVILI, A. INCORONATO, P. TIANO. 2006b. Lava identification by paleomagnetism: a case study and some problems surrounding the 1631 eruption of Mount Vesuvius, Italy. *Earth Planets Space* 58: 1061-1069.
- GIACOMELLI, L., A. PERROTA, R. SCANDONE, C. SCARPATI. 2003. The eruption of Vesuvius of 79 AD and its impact on human environment in Pompei. *Episodes* 26/3: 234-237.
- GUIDOBONI, E., E. BOSCHI. 2006. Vesuvius before the 1631 eruption. *EOS, Transactions American Geophysical Union (Trans. Am. Geophys. Union)* 87/40: 417, 423.
- INCORONATO, A., A. ANGELINO, R. ROMANO, A. FERRANTE, R. SAUNA, G. VANACORE, C. VECHIONE. 2002. Retrieving geomagnetic secular variations from lava flows: evidence from Mount Arso, Etna and Vesuvius (southern Italy). *Geophysical Journal International (Geophys. J. Int.)* 149: 724-730.
- ISMAIL-ZADEH, A., J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, A. KIJKO, K. TAKEUCHI, I. ZALIAPIN, EDS. 2014. *Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications*. Cambridge University Press. Cambridge. 402 pp.
- LE HON, M. 1865. Histoire complete de la grande eruption du Vesuve de 1631. *Bulletin de l'Académie des Sciences, Lettres et Beaux Arts. Belg* 20: 483-538.
- PAVÓN-CARRASCO, F. J., M. L. OSETE, J. M. TORTA, A. DE SANTIS. 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters (Earth Planet. Sci. Lett.)* 388: 98-109.
- PRINCIPE, C., J. C. TANGUY, S. ARRIGHI, A. PAIOTTI, M. LE GOFF, U. ZOPPI. 2004. Chronology of the Vesuvius' activity from AD 79 to 1631 based on archaeomagnetism of lavas and historical sources. *Bulletin of Volcanology (Bull. Volcanol.)* 66: 703-724.
- ROLANDI, G., F. RUSSO. 1993. L'eruzione del Vesuvio del 1631. *Bollettino della Società Geologica Italiana (Boll. Soc. Geol. Ital.)* 112: 315-332.
- ROLANDI, G., A. BARRELLA, A. BORRELLI, G. D'ALESSIO. 1991. The 1631 Vesuvian eruption. En *International Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation (Napoli, Italy): Abstracts*.
- ROSI, M., R. SANTACROCE. 1986. L'attività del Somma-Vesuvio precedente l'eruzione del 1631. Dati stratigrafici e vulcanologici. En *Tremblement de terre, eruptions volcaniques et vie des hommes dans la Campanie Antique*, editado por C. Albore Livadie, pp. 15-33. Bibliothèque de l'Institute français de Naples 7.