

FECHAMIENTO ARQUEOMAGNÉTICO DE LAS ÚLTIMAS TRES ERUPCIONES PLINIANAS DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL

Nayeli Pérez Rodríguez^{1*}, Juan Julio Morales Contreras², Felipe García Tenorio³, Avto Gogishaishvili²

¹ Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN, Unidad Ticomán, México, México.

² Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, IGEF, UNAM, Campus Morelia, México.

³ Laboratorio de Vulcanología, IGEF, UNAM, Campus Morelia, México.

*e-mail: nayeli.pe.rod@gmail.com

ABSTRACT

Relationships between Mesoamerican cultures and volcanoes are closely linked, mainly, due to the spiritual character that was assigned to big volcanic structures (Glockner, 2009). In different places and in different temporalities this relationship involved the devastation and accelerated change in the structure of some societies. The volcano sedimentary deposits of the last three Plinian eruptions of the Popocatepetl volcano keep buried a huge amount of archaeological remains of ancient peoples who inhabited the eastern section of the volcano (Puebla, Mexico), keeping clear evidence of a society that witnessed the destructive effects of an active volcano (Plunket, Uruñuela, 1998, 2000; Macias, 2005; Panfil *et al.* 1999). Using archaeomagnetic dating techniques new dates for some phases of the aforementioned eruptions are proposed. With the combined analysis of dates and the local stratigraphic column a general reconstruction of big eruptions is posed, which has been attested by villagers of Puebla valley during the last 5000 years BP.

Keywords: Popocatepetl; Archaeomagnetism; Plinian eruptions

RESUMEN

Las relaciones entre las sociedades y los volcanes en las culturas Mesoamericanas se encuentran estrechamente ligadas debido, principalmente, al carácter espiritual que fue asignado a las grandes estructuras volcánicas (Glockner, 2009). En distintos lugares y temporalidades esta relación implicó la devastación y el cambio acelerado en la estructura de algunas sociedades. Los depósitos vulcano sedimentarios de las últimas tres erupciones Plinianas del volcán Popocatepetl mantiene sepultada una abundante cantidad de vestigios arqueológicos de las antiguas poblaciones que habitaron la sección Este del volcán (Puebla, México), guardando una clara evidencia de una sociedad que presenció los efectos destructivos de un volcán activo (Plunket, Uruñuela, 1998, 2000; Macías, 2005; Panfil *et al.* 1999). Mediante técnicas de datación arqueomagnética se proponen nuevas edades para algunas de las fases de las erupciones anteriormente mencionadas. Con estas edades y con el análisis de la columna estratigráfica local se plantea una reconstrucción general de las grandes erupciones que han presenciado los pobladores del valle de Puebla durante los últimos 5000 años AP.

Palabras Clave: Popocatepetl; Arqueomagnetismo; Erupciones Plinianas

Introducción

El Popocatepetl es el volcán más riesgoso de México, con casi un millón de personas asentadas en un radio de 35 km (CENAPRED). Su historia eruptiva ha sido muy explosiva desde hace 23,000 años AP, 14,000 años AP, y durante el Holoceno, con erupciones ocurridas en tiempos prehispánicos: ~2100 años AP (Pómez Lorenzo) y ~1000 años (Pómez Rosa), las cuales tuvieron implicaciones en los asentamientos humanos de la Cuenca de Puebla (Plunket y Uruñuela, 1998). Las erupciones fueron fechadas por ¹⁴C en suelos que interestratifican con los materiales piroclásticos (Robin, 1984; Siebe *et al.*, 1996a; Plunket y Uruñuela,



1998; Panfil *et al.*, 1999; Siebe y Macías, 2006; Arana-Salinas *et al.*, 2010). No obstante, fechamientos radiométricos directamente en los materiales volcánicos han sido escasos o no existen. En el presente trabajo se realizaron por primera vez análisis paleomagnéticos en materiales volcánicos de las últimas grandes erupciones (Pómez Lorenzo y Pómez Rosa) y en cerámicas embebidas entre los materiales volcánicos de estas erupciones en depósitos de la sección NE del volcán. Se muestran nuevas edades para las erupciones y se analiza su probable impacto sobre los asentamientos humanos en el área de estudio (Cuenca de Puebla).

Columna estratigráfica compuesta de la Sección E-NE del volcán Popocatepetl

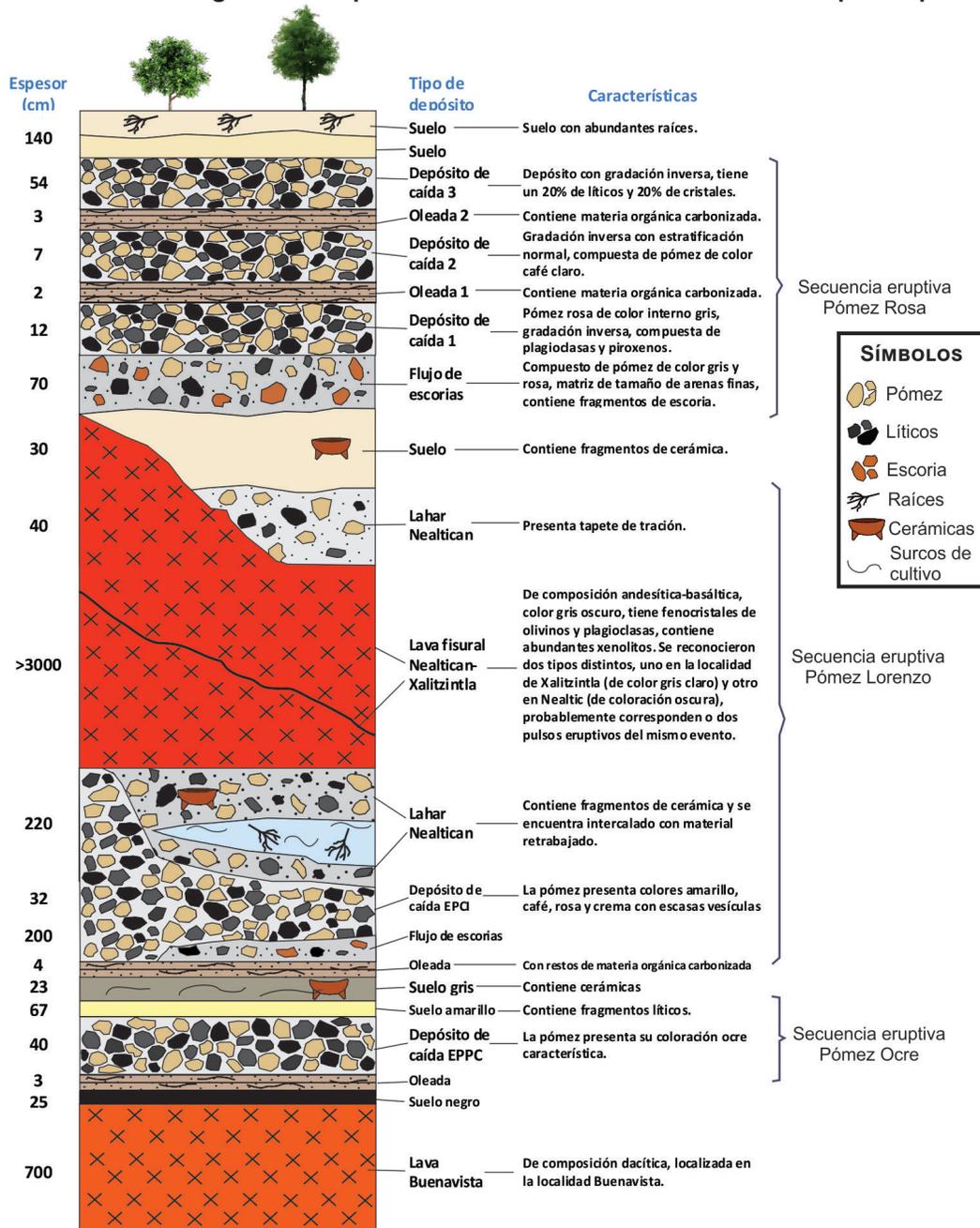
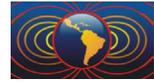


Figura 1. Sección estratigráfica compuesta de la vertiente E-NE del volcán Popocatepetl, entre Buenavista y Nealtican Puebla. Basado en: Siebe *et al.*, 1996a, 1996b y Macías, 2006.



Marco geológico y muestreo

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es un arco volcánico que atraviesa de Este a Oeste la parte central del territorio Mexicano. Es el resultado de la subducción de la Placa de Rivera y Cocos a lo largo de la Trinchera de Acapulco (Gómez-Tuena *et. al.*, 2005). Suele dividirse en 3 sectores diferenciados por su tipo de vulcanismo y por su composición química: sector occidental, central y oriental (Ferrari, 2000). El volcán Popocatepetl forma parte de la Sierra Nevada, ubicada en el sector Oriental de la FVTM; dicho sector se encuentra limitado por el sistema Taxco-Querétaro y se caracteriza por contener grandes estratovolcanes, calderas y complejos de domos de composición andesítica a riolítica.

El Popocatepetl es un estratovolcán con un cráter truncado compuesto por una alternancia de depósitos piroclásticos y flujos de lavas andesíticas y dacíticas. En los últimos 5000 años AP el volcán ha presentado tres grandes erupciones de tipo Pliniano: Pómez Ocre o Erupción Pliniana del Pre-Cerámico Superior (EPPC), Pómez Lorenzo o Erupción Pliniana del Cerámico Inferior (EPCI) y Pómez Rosa o Erupción Pliniana del Cerámico Superior (EPCS) (Siebe *et. al.* 1996b). Las tres erupciones iniciaron con la emisión de pequeñas cantidades de ceniza y pequeños flujos piroclásticos. Posteriormente ocurrieron explosiones freatomagmáticas, cuyos flujos restantes se extendieron de manera radial a grandes velocidades por las laderas del volcán, lo que culminó en una fase paroxísmica con el surgimiento de una gran columna Pliniana, la caída de pómez y el emplazamiento de flujos piroclásticos al colapsarse la columna, finalizando con extensos lahares (Siebe *et. al.* 1996a). Estas erupciones fueron descritas en las localidades de Buenavista, San Nicolás de los Ranchos, Tetimpa, Santiago Xalitzintla y Nealtican, ubicadas en el sector Este del volcán, para obtener una columna estratigráfica compuesta representativa del área de estudio (Fig. 1).

Para realizar las dataciones arqueomagnéticas se muestrearon tres flujos de lava (Dacita Buenavista, lava Xalitzintla y lava Nealtican) y dos flujos de escoria ubicados debajo de la secuencia de la Pómez Rosa y debajo de la secuencia de la Pómez Lorenzo (ver Fig. 1). Las muestras fueron orientadas con una brújula magnética y perforadas con una nucleadora portátil. Se obtuvieron un total de 44 especímenes. Se recolectaron también 8 fragmentos cerámicos embebidos en paleosuelos ubicados en las bases de las secuencias de la Pómez Rosa y de la Pómez Lorenzo. Cada muestra se dividió en 6 porciones, obteniendo un total de 47 especímenes, los cuales fueron encapsulados en pastillas de sal para su posterior tratamiento.

Método experimental

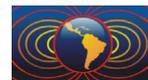
El trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA) del Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán. Empleando la balanza de Curie se realizaron experimentos de magnetismo de rocas para reconocer a los minerales portadores de la magnetización en las muestras. Se obtuvieron curvas termomagnéticas, curvas de magnetización remanente isotermal (IRM) y curvas de histéresis.

Para cada material muestreado se eligió un espécimen piloto, el cual se sometió a un tratamiento por desmagnetización de campos alternos. Se analizó el comportamiento de la magnetización registrada en las muestras para detectar posibles magnetizaciones secundarias que pudieran haber alterado el registro de la magnetización original. La desmagnetización se llevó a cabo en incrementos de campos progresivos iniciando en 10 mT y terminando en 70 ó 90 mT, de acuerdo al comportamiento de cada muestra.

La determinación de las direcciones del campo magnético terrestre antiguo, así como de las arqueointensidades registradas en cada una de las muestras se realizó empleando el método de Thellier-Coe (Thellier y Thellier, 1959; Coe, 1967) descrito en Morales (2003), entre temperatura ambiente y 560° C.

Resultados y comentarios concluyentes

Tanto de los materiales geológicos (Fig. 2) como de las cerámicas (Fig. 3) se obtuvieron los valores de dirección (para las lavas y algunos fragmentos piroclásticos) y de intensidad esperados para la temporalidad



Lava Nealtican

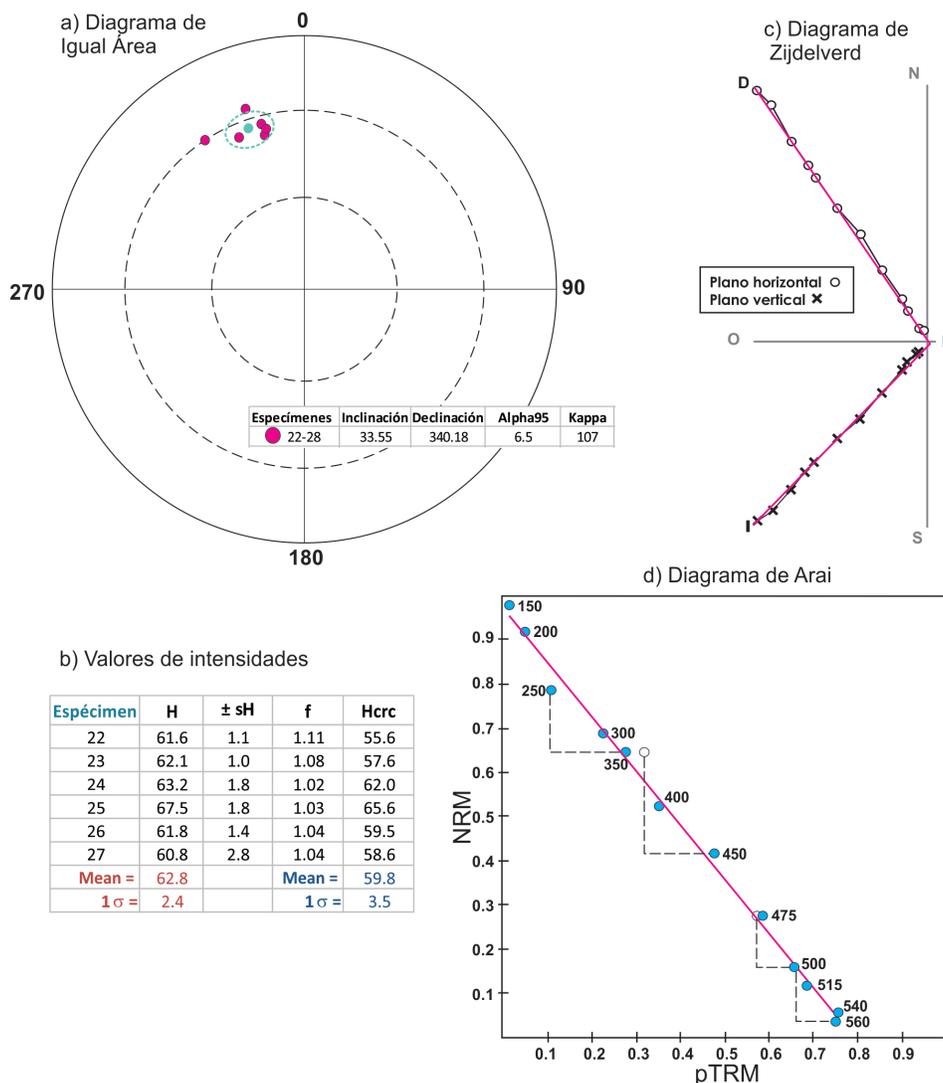


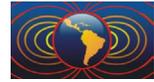
Figura 2. Diagramas y tabla de datos obtenidos de los especímenes de la lava Nealtican. a) Diagrama de Igual Área; b) Valores de intensidad en μT , c) Diagrama de Zijderveld, d) Diagrama de Arai.

que les fue asociada de acuerdo a su posición en la columna estratigráfica.

A partir de los resultados obtenidos por el Método de Thellier-Coe se determinaron las edades correspondientes a cada muestra, empleando para ello la herramienta de MATLAB *archaeo_dating*, desarrollada por Pavón Carrasco *et. al.* (2011, 2014). En la Tabla 1 se sintetizan los resultados obtenidos.

De acuerdo a las edades obtenidas, y tomando como base la columna estratigráfica levantada en el área de estudio, se infieren los siguientes eventos geológicos para el período histórico del volcán Popocatepetl:

- i. Por correlación estratigráfica se sabe que la dacita Buenavista se emplazó hace aproximadamente 9000 años (Siebe *et. al.*, 1995).
- ii. Hacia el año 5000 AP, de acuerdo a Siebe *et. al.*, (1996a), se reactiva el volcán depositando la secuencia de la Pómez Ocre.
- iii. Posteriormente se desarrolló un suelo con cerámicas fechadas en el presente trabajo en 2848-3005 años AP.



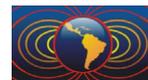
- iv. Entre los años 3740 y 2781 AP (edad obtenida en el presente trabajo) inicia el depósito de la Pómez Lorenzo con el emplazamiento de un flujo piroclástico; esta erupción estuvo acompañada por el depósito de lahares voluminosos hacia el valle de Puebla (lahar Nealticán).
- v. Hacia los años 885 - 831 AP (edades obtenidas en el presente trabajo) tuvo lugar la efusión de derrames de lava que alcanzaron espesores de 30 m, seguido del emplazamiento de lahares.
- vi. En los siguientes años se desarrolló un suelo utilizado por antiguas poblaciones. De los restos cerámicos obtenidos de este suelo se obtuvo una edad de 1367 a 1125 AP.
- vii. Finalmente, entre los años 934 y 791 AP (edad obtenida en el presente trabajo) dio inicio la erupción de la Pómez Rosa.

Tabla 1. Síntesis de los resultados obtenidos en el análisis para la datación de lavas, piroclastos y fragmentos cerámicos procedentes de erupciones Plinianas recientes del Popocatépetl.

LAVAS Y PIROCLASTOS				
SITIO DE MUESTREO	MUESTRA	ESPECÍMENES	DATOS FIABLES	RANGO DE EDADES OBTENIDAS (AP)
Flujo piroclástico Secuencia Pómez Lorenzo	1	1 - 3	Sí	3740 -2781
	2	4 - 8	Sí	
Flujo piroclástico Secuencia Pómez Rosa	3	10 - 14	No	934 - 791
	4	15 - 18	Sí	
	5	19 - 21	No	
Lava Nealtican	6	22 - 23	Sí	885 - 831
	7	24 - 28	Sí	
Lava Xalitzintla	8	31 - 36	No	-
Dacita Buenavista	9	38 - 44	No	-
FRAGMENTOS CERÁMICOS				
Suelo debajo de la Secuencia Pómez Rosa	1	1-6	No	1367 - 1125
	2	7-12	Sí	
	3	13-18	No	
	4	19-23	No	
Suelo debajo de la Secuencia Pómez Lorenzo	5	25-29	No	2832 - 2312
	6	30-35	Sí	
	7	36-41	Sí	

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado financieramente por el proyecto PAPIIT *Variabilidad de campo magnético terrestre desde el Cretácico hasta el PlioCuaternario*.



Suelo debajo de la secuencia de la Pómez Rosa

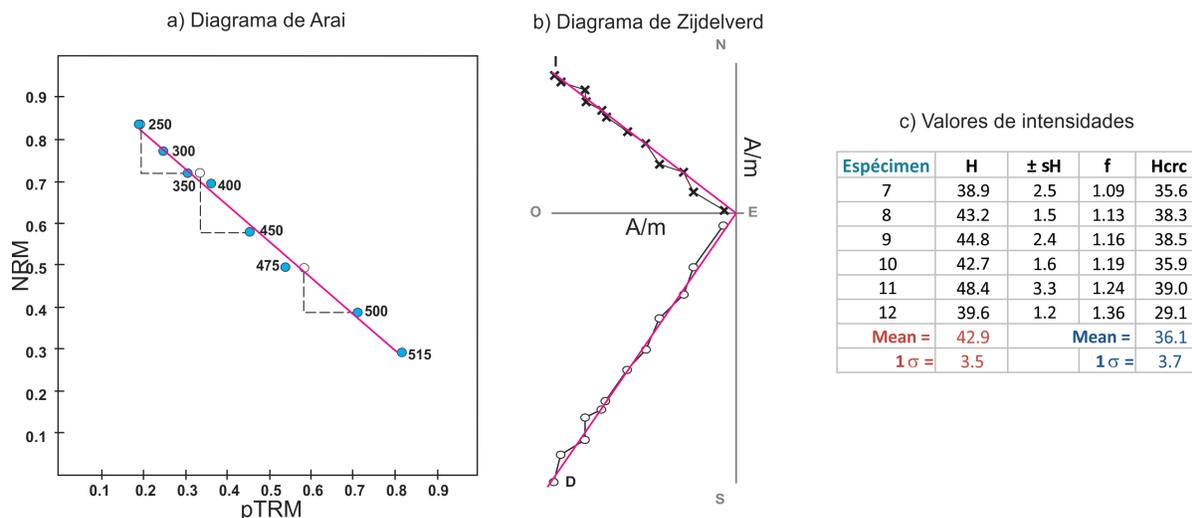


Figura 3. Diagramas y tabla de datos obtenida de un fragmento cerámico embebido en un suelo ubicado debajo de la secuencia eruptiva de la Pómez Rosa. a) Diagrama de Arai, b) Diagrama de Zijderveld, c) Valores de intensidad en μT .

REFERENCIAS

Arana-Salinas L., Siebe C., Macías J. L., 2010. Dynamics of the ca. 4965 ^{14}C BP “Ochre Pumice” Plinian eruption of Popocatepetl volcano, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192, 212-231.

Coe, R. S., 1967. Paleointensities of the Earth’s magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. *J. Geophys. Res.*, 72, 3247-3262.

Ferrari L., 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LIII, 84-92.

Glockner J., 2009. Mitos y sueños de los volcanes. *Arqueología Mexicana*, XVI, 95, 64-69.

Gómez-Tuena A., Orozco-Esquivel M.T., Ferrari L., 2005. Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LVII, 3, 227-233.

Macías J. L., 2005, Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario*, LVII, 3, 395-399.

Morales J. J., 2003. Determinación de las paleointensidades absolutas sobre las rocas mexicanas y sudamericanas: aspectos metodológicos e implicaciones geomagnéticas. Tesis de Doctorado, UNAM, México, 172 pp.

Panfil M., Gardner T., Hirth K., 1999. Late Holocene stratigraphy of the Tetimpa archaeological sites, northeast flank of Popocatepetl volcano, central Mexico, *GSA Bulletin*, 111, 2, 204-218.

Pavón Carrasco F. J., Rodríguez-González J., Osete M. L., Torta J. M., 2011. A Matlab tool for archeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science*, 38, 408-419.

Pavón Carrasco F. J., Osete M. L., Torta J. M., De Santis A., 2014. A Geomagnetic Field Model for the Holocene based on archeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters*, 388, 98-109.

Plunket P., Uruñuela G., 1998. Preclassic Household Patterns Preserved under Volcanic Ash at Tetimpa, Puebla, Mexico. *Society for American Archaeology, Latin American Antiquity*, 9, 4, 287-309.



- Robin C., 1984, Le Volcan Popocatépetl (Mexique): structure, evolution pétrologique et risques. *Bulletin Volcanologique*, 47, 1.
- Siebe C., Abrams M., Macías J. L., 1995. Derrumbes Gigantes, Depósitos de Avalanchas de escombros y edad del Actual Cono del Volcán Popocatépetl, en: Volcán Popocatépetl estudios realizados durante la crisis de 1994-1995. CENAPRED, 195-220 pp.
- Siebe C., Macías J. L., Abrams M., Obenholzner J., 1996^a. La destrucción de Cacaxtla y Cholula: un suceso en la historia eruptiva del Popocatépetl. *Ciencias*, 41, 36-45.
- Siebe C., Macías J. L., Abrams M., Obenholzner J., 1996b. Repeated volcanic disaster in Prehispanic time at Popocatépetl, central México: Past key to the future? *Geology*, 24, 5, 399-402.
- Siebe C., Macías J. L., 2006. Volcanic hazards in the Mexico city metropolitan area from eruptions at Popocatépetl, Nevado de Toluca, and Jocotitlán stratovolcanoes and monogenetic scoria cones in The Sierra Chichinautzin Volcanic Field. *The Geological Society of America*, 1-33.
- Thellier, E. y Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.*, 15, 285-376.
- Uruñuela G., Plunket P., 2000. El Proyecto Tetimpa, *Departamento de Antropología, Universidad de las Américas, Puebla*, 1-10.