



ISSN: 2007-9656

LATINMAG LETTERS

August 2014 - Volume 4 - Number 4
LL14-0402Rv

REVIEW PAPER

Published on behalf of the Latin American Association of Paleomagnetism and Geomagnetism by the Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

Arqueomagnetismo en México 1965-2013

Ana Maria Soler Arechalde

14 pages, 8 figures

Latinmag Letters can be viewed and copied free of charge at:
<http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/>

Papers contents can be reproduced meanwhile the source is cited



Arqueomagnetismo en México 1965-2013

Ana Maria Soler Arechalde

¹ Instituto de Geofísica.

*Corresponding author, E-mail: anesoler@geofisica.unam.mx

Received: June 2014, Accepted: July 2014, Published: August 2014

Resumen. Se presenta una revisión de todas las investigaciones arqueomagnéticas realizadas en México desde 1965 hasta 2013. El inicio de estas investigaciones en México fué relativamente temprano, dado el gran acervo cultural del pasado en el país y en particular gracias al hecho de contar con el sitio arqueológico de Cuicuilco (al sur de la Ciudad de México), afectado por la erupción del Xitle. No obstante, no hubo una continuidad en este tipo de estudios sino hasta el año 2000 cuando se inició un trabajo constante e intensivo derivado de lo cual de manera continúa se han modificado y sustentado con mayores datos las curvas de variación secular, tanto en direcciones -declinación e inclinación-, como en intensidades. Las curvas más recientes muestran que aún hay ventanas temporales que necesitan ser mejor sustentadas con muestreos más intensos, ya sea porque hay pocos datos como también por la existencia grandes dispersiones en los resultados hasta ahora obtenidos.

Palabras claves: *Arqueomagnetismo, México, Mesoamérica, arqueodirecciones, arqueointensidades*

Abstract. A review of all archeomagnetic research in Mexico from 1965 to 2013 is presented. Pioneer research started relatively early due to the reach cultural past of the country and also since the archeological Cuicuilco site (south of Mexico City), covered by lavas coming from the Xitle eruption. Despite this, there was no continuity in this kind of studies until 2000 when an intensive and constant archeomagnetic work began, which have resulted in a continuous task of adjustment and improvement of the curves of secular variation in directions -declination and inclination- and intensity. Recent curves still show some time-windows that need to be better sustained with more intensive sampling since the lack of enough data or the large dispersions in the results so far.

Keywords: *Archeomagnetism, Mexico, Mesoamerica, archeodirections, archeointensities*

1 Fundamentos

El arqueomagnetismo es el estudio de materiales arqueológicos que contienen minerales magnéticos, principalmente óxidos de hierro, que tienen la capacidad de registrar las variaciones del campo magnético terrestre. Estos minerales también cuentan con propiedades distintivas que permiten, mediante las técnicas de propiedades magnéticas de rocas, caracterizar a los materiales.



Los principales objetivos de los estudios de arqueomagnetismo son la determinación de las variaciones espacio-temporales del campo geomagnético a partir del estudio de materiales arqueológicos. Pero también incluye otros objetivos de interés fundamentalmente arqueológico, como son las dataciones de estructuras, así como el estudio de las variaciones en la orientación de estas estructuras a lo largo de diferentes etapas constructivas; la determinación de propiedades magnéticas de materiales empleados para la elaboración de objetos con el fin de identificar sus fuentes de procedencia; la identificación y análisis de objetos que permiten inferir el conocimiento del campo geomagnético adquirido por diversas culturas.

Variaciones espacio-temporales del campo geomagnético en sitios arqueológicos

Las investigaciones arqueomagnéticas se realizan sobre objetos expuestos al fuego, tales como fogones, comales, hornos, temazcales (baños de vapor); o bien pisos, muros y techos que han sido sufrido incendios. Todos estos materiales guardan al momento de su última exposición al fuego, la dirección e intensidad del campo magnético presente, como lo ilustra la Figura 1 a.

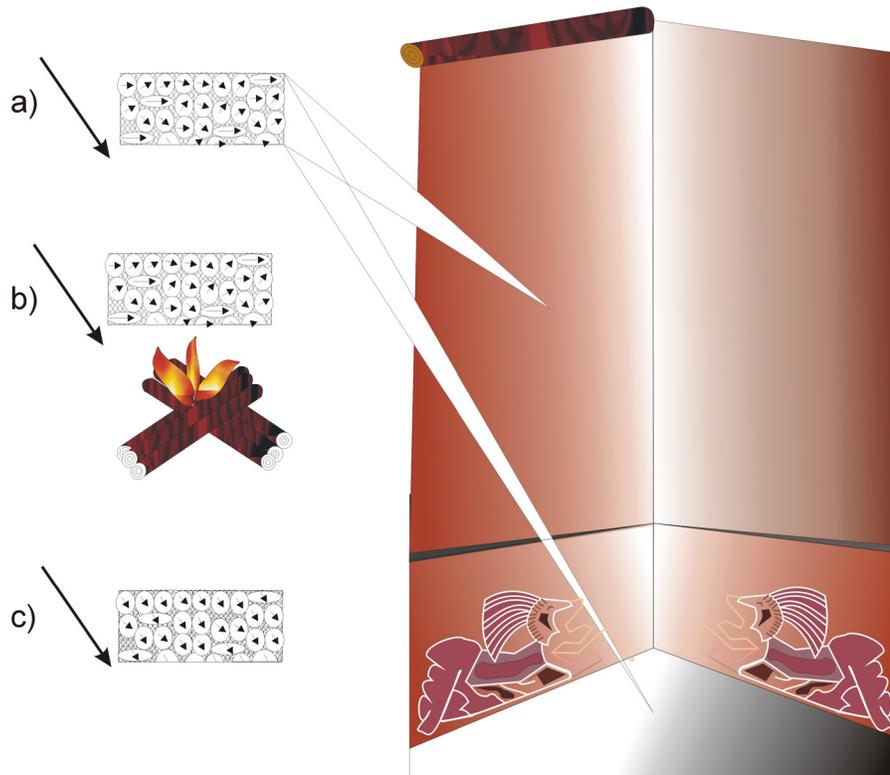


Figura 1. Proceso de adquisición de magnetización termoremanente en muros y pisos afectados por el fuego

- Los estucos al ser aplicados pueden adquirir una magnetización detrítica M_i que dependerá del tamaño y forma del grano magnético, ésta podrá ser medida si cuenta con un número suficiente de minerales magnéticos.
- Al ser expuestos al fuego pierden la magnetización con que contaban
- Al enfriarse adquieren la magnetización M_f presente al momento.

En estas investigaciones también pueden emplearse indicadores estratigráficos como cenizas, tobas, flujos piroclásticos y lavas que hayan sido datados. En ambos casos es posible obtener la magnetización termoremanente mediante las técnicas del paleomagnetismo.



En el caso de muestras provenientes de sitios arqueológicos es muy importante que el arqueólogo o la institución a la que se solicita el permiso para la obtención de muestras comprendan la necesidad de contar con un número suficiente de ellas y que las técnicas son de tipo destructivo. Las muestras deben encontrarse "in situ" para poder ser orientadas y contar con un estricto control estratigráfico. En el caso de ser muestras que se incorporen a la curva de variación secular deberán contar con una datación por algún otro método como radiocarbono o termoluminiscencia.

La construcción de curvas de variación secular para declinación e inclinación, por áreas geográficas determinadas es un proceso de vital importancia, se basa en la hipótesis fundamental del paleomagnetismo: que el campo geomagnético es geocéntrico (G), axial (A) y dipolar (D) -campo GAD-. Por tanto, se puede inferir que la dirección del campo geomagnético en el pasado registrado en los materiales, está en función de la latitud en donde se formaron estos materiales y de ahí inferir la dirección del polo (VGP, polo virtual geomagnético) en el sitio de estudio.

En América y en particular en Mesoamérica donde hubo un gran desarrollo cultural, solo se cuenta con tres curvas publicadas para el lapso del 1 al 1200 dC: Wolfman (1990), Daly y Le Goff (1996, datos revisión y análisis estadístico), Böhnell y Molina (2002, retrabajo de datos de Wolfman, 1990), Soler y colaboradores (2006, datos de Wolfman, geológicos y propios). En el Noroeste de México se pueden aplicar los resultados del suroeste de Estados Unidos donde se cuenta con las curvas de Sternberg (1990) del 7000 al 1450 dC, de Eighmy y colaboradores (1990) del 700 al 900 dC y con la revisión y análisis estadístico de datos del área de Daly y Le Goff (1996) y de Hagstrum y Blinman (2010).

Para poder construir una curva de variación secular se sugiere una ventana de 100 años para polos recientes con el fin de promediar los efectos de las variaciones del campo no dipolar (Barbetti, 1977). En la Figura 2 se muestra una curva de variación direccional con una periodicidad de cada 100 años para Mesoamérica con los 62 datos de Wolfman (1990) y los 76 nuevos datos obtenidos a partir del año 2000: Hueda, *et al.* (2004), Soler *et al.* (2006), López-Delgado, (2008), Aguilar y Morales (2011), Saavedra-Cortes (2010), Fregoso (2010), Hernández-Ávila (2010) y Martínez-Miranda (2012). Podemos observar dos rizos, el primero a favor de las manecillas del reloj entre 100 aC y 600 dC, que también aparece en la curva de Wolfman (1990) y otro en contra de las manecillas entre 1200 y 1500 dC.

Para los estudios de variaciones de la intensidad del campo geomagnético los materiales deben de contar con magnetización de tipo termoremanente unidireccional y no requieren estar orientados, en su mayoría fragmentos de cerámica.

El método más empleado para determinar la arqueointensidad es el de Thellier (1959a, 1959b). El método al igual que en el caso de arqueodirecciones se basa en la hipótesis fundamental del paleomagnetismo: el campo es GAD, y de ahí que la intensidad del campo en el pasado es función sólo de la latitud y de la magnitud del momento dipolar de la Tierra. Así las mediciones de arqueointensidades sobre todo el mundo pueden ser normalizadas calculando un momento dipolar equivalente o momento dipolar virtual (VDM).

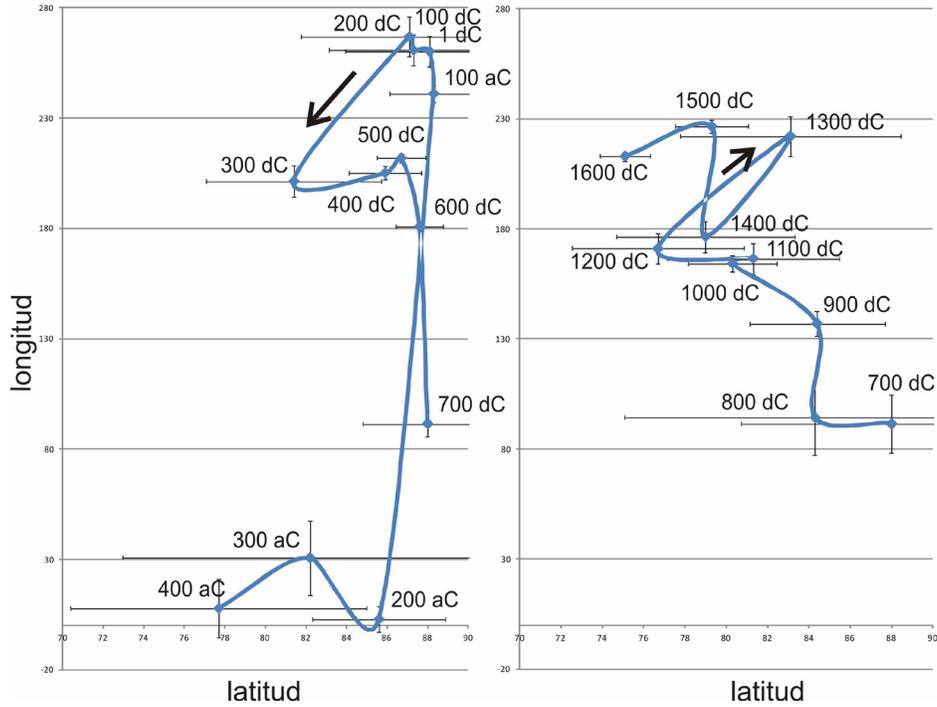


Figura 2. Variación secular para Mesoamérica (VGP) para dos períodos del 400 aC al 700 dC y del 700-1600 dC, utilizando promedios móviles con una ventana de 100 años. Se emplearon los datos arqueomagnéticos de Wolfman (1990) y datos nuevos del Laboratorio de Paleomagnetismo UNAM desde el año 2000 al 2013 (Tabla 1).

De igual manera que en el caso de los VGP para arqueomagnetismo los momentos virtuales dipolares pueden ser promediados en intervalos de cientos de años, en la Figura 3 se muestra la curva desarrollada por McElhinny y Senanayake (1982) para los últimos 10 mil años.

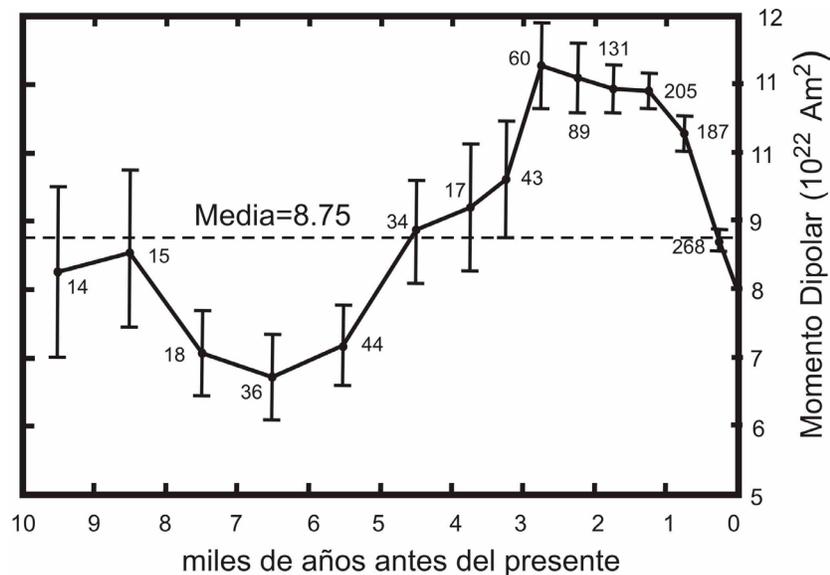


Figura 3. Variación en el tiempo del momento dipolar global en promedios de 500 años del año 0 al 4000 antes del presente y después en promedios de 1000 años del 4000 a 10000 años antes del presente. En cada punto se muestra el número de medidas promediados y el α_{95} correspondiente (McElhinny & Senanayake, 1982)



En 1997 Chiari y Lanza describieron una nueva forma de remanencia magnética denominada pictórica o PiRM. Ellos la determinaron en las pinturas cuando los pigmentos eran elaborados con minerales con altos contenidos de óxidos de hierro, como la hematita. Dado que los pigmentos son mezclados en algún fluido para poder aplicarse, los minerales magnéticos tienen la libertad de moverse y alinearse con el campo magnético presente y al secarse guardan la información

El contenido de hematita, el tamaño de grano, la viscosidad del fluido en el que están suspendidas, como también la rugosidad y porosidad de la superficie en la que son factores que afectan el buen registro de la magnetización. Otro factor característico del tipo de muestra es su espesor.

2 Investigaciones 1965 a 1986

El primer trabajo fue el de Nagata y colaboradores en 1965 sobre alfarería de Cuicuilco, sitio ubicado al sur de la Cuenca de México afectado por la erupción del Xitle del 245 al 315 dC (Siebe, 2000) (Fig. 4, círculo verde). El sitio era muy interesante ya que además de contar con desarrollo cultural y consecuentemente objetos cerámicos, permitía la determinación de paleointensidades de las rocas producto de esta erupción y por tanto una comparación de ambas determinaciones.

Coe en 1967 reporta una probable brújula flotante, que consiste en un fragmento de magnetita (M-160), encontrado en San Lorenzo Tenochtitlan, Veracruz, sitio de la cultura olmeca con una edad entre el 1400 y 1000 aC. (Fig. 4, estrella roja)



Figura 4. Localización de los sitios arqueológicos muestreados en Mesoamérica.



En 1970 Bucha y colaboradores realizan determinación de paleointensidades sobre cerámicas de siete sitios arqueológicos de México de los años 300 aC al 1590 dC (Fig. 4, círculos verdes).

Wolfman en 1973 publicó una cronología para Mesoamérica del 1 al 1200 dC basado en 62 datos arqueomagnéticos direccionales, de muestras tomadas en dos períodos de tiempo 1969 y 1973. Todos sus datos provienen de muestras quemadas, y sólo 10 fueron desmagnetizadas. El 95% de las muestras fue datada de acuerdo a la etapa cerámica y a la posición estratigráfica, sólo un 5% fue correlacionada con una datación por radiocarbono. En el mapa se muestran los 22 sitios que muestreo (Fig. 4, estrellas rojas), 16 en México y los 6 restantes en Guatemala, Honduras y el Salvador. Como él mismo menciona la curva es dependiente de las dataciones de radiocarbono existentes, que eran muy escasas en ese momento. Y mucho de su trabajo lo basa en estratigrafía, estilo cerámico y arquitectónico.

En 1975 Carlson realiza experimentos sobre el fragmento M-160 de San Lorenzo Tenochtitlan (Fig.4, estrella roja) como flotación en mercurio y en una estera de corcho sobre agua, espectroscopia Mòssbauer y determinación del momento magnético. Los experimentos permiten inferir que la pieza fue elaborada de forma tal que el momento magnético se encuentra en el plano de flotación y que la pieza, que probablemente mediría el doble de las dimensiones actuales, apuntaría al Norte-Sur magnético. Los resultados de estas mediciones se muestran en la Figura 5.

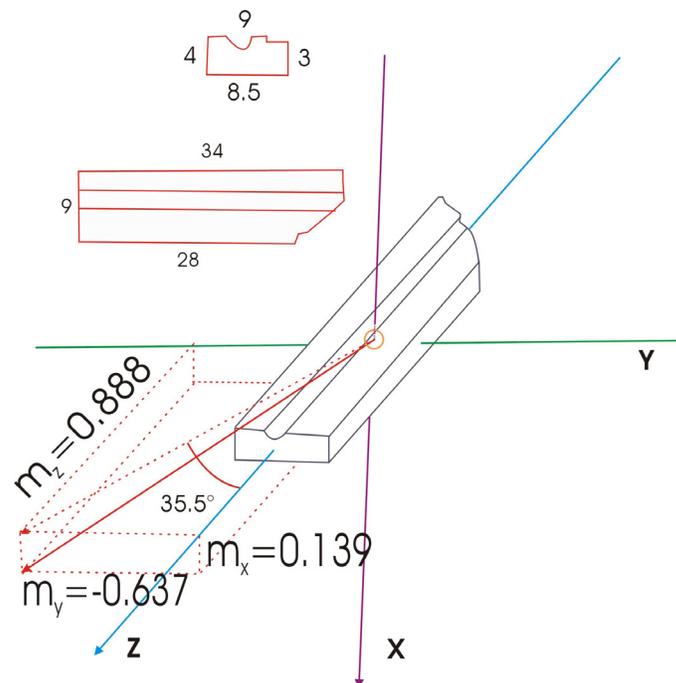


Figura 5. Fragmento de hematita M-160 encontrado en San Lorenzo Tenochtitlan donde se muestran sus dimensiones espaciales en mm. En el esquema vectorial se muestra la dimensión de las componentes del momento magnético. La dirección de M es tal que y - z está en el plano de flotación, y el eje z es paralelo a la incisión de la pieza. M forma un ángulo de 35.5° al Oeste del Norte geográfico correspondiente a la variación secular del área para el preclásico en la zona (modificado de Carlson, 1975).



Malmstrom en 1976 reporta en Izapa, Chiapas (Fig. 4, estrella roja; Fig. 6) una cabeza de tortuga que al acercársele una brújula en cualquier punto de la misma, su aguja se desvía siempre en dirección de la nariz del quelonio. La pieza al igual que el fragmento de hematita corresponden al período Formativo tardío (400 aC al 1 dC).

Figura 6. Cabeza de tortuga de Izapa, Chiapas mostrando el experimento realizado con la brújula (tomado de Malmstrom,1976).



Urrutia y colaboradores (1981, 1986) como parte de un proyecto de colaboración entre la UNAM y la Universidad de Sternwarte en Bonn, Alemania, reportaron que los ejes mayores de edificios de sitios del Formativo (1000 aC al 1 dC) tanto en Oaxaca como en Tabasco están orientados 8° hacia el noroeste, por el contrario para el clásico se observa una orientación de 20° hacia el noreste en Teotihuacan, Chiche- Itzá, Uxmal y Labná (Fig.4, estrellas rojas), coincidiendo éstas orientaciones con la variación del norte magnético en esos períodos.

3 Investigaciones recientes

En 1999 se retomaron las investigaciones en arqueomagnetismo en México. Una de las hipótesis que se planteaba era que el estuco en la zona centro de México, debido a que parte de la carga era ceniza volcánica y tezontle (escoria) molida, contenía minerales magnéticos que de forma similar a las rocas sedimentarias, podrían guardar la dirección del campo geomagnético al momento de fraguarse. Se realizó una primera toma de muestras en Teotihuacan bajo la dirección del Dr. Tarling de la Universidad de Plymouth, donde se aprendió la técnica para la toma de muestras. La técnica consiste en adherir mediante pegamento epóxico unos testigos cilíndricos de madera que permiten orientarse tanto con brújula Brunton como solar. Ya con la técnica se tomaron muestras en Teopancazco, barrio aledaño a Teotihuacan, en Cacaxtla, Tlaxcala, Xochicalco, Morelos y en el Templo Mayor de la Ciudad de México (Hueda y Soler 2001). Las muestras fueron desmagnetizadas mediante campos alternos crecientes hasta 100 mT y se obtuvieron buenos resultados en Teopancazco y Templo Mayor (Tabla 1), esto es que aún en estucos no quemados el registro de la magnetización era bueno y coincidente con las temporalidades determinadas por radiocarbono y estratigrafía (Hueda *et al.*, 2004). Cacaxtla y Xochicalco por el contrario mostraron grandes incertidumbres, no permitiendo determinar direcciones características. La susceptibilidad y anisotropía de susceptibilidad magnética fue también determinada en la totalidad de los especímenes, ciclos de histéresis e IRM mediante micromag se efectuó igualmente en muestras representativas.



SITIO	Número de muestras	Temporali- dad	Referencia
La Joya, Veracruz	4 17	Preclásico Clásico	Aguilar y Morales, 2011
Teopancazco, México 1999	3	Clásico	Hueda, 2000 Hueda <i>et al.</i> , 2004
Teopancazco, México 2003	2	Clásico	Sánchez, 2005 Soler <i>et al.</i> , 2006
Teopancazco, México 2005	4 10	Preclásico Clásico	Romero, 2008 Hernández, 2010
Xalla, México 2001	1	Clásico	Rodríguez, 2003 Soler <i>et al.</i> , 2006
Xalla, México 2003	2	Clásico	Sánchez, 2005 Soler <i>et al.</i> , 2006
Xochicalco, Morelos 1999	2	Posclásico	Hueda y Soler, 2001 Soler y Hueda, 2006
Xochicalco, Morelos 2006	2	Clásico	Soler <i>et al.</i> , 2008
Xochicalco, Morelos 2007	2	Clásico	Soler y Caballero, 2008
Tecama, México 2007	4	Posclásico	Saavedra, 2010
Tula, Hidalgo 2007	9	Posclásico	Martínez, 2012
Chapultepec, DF	1	Clásico	López, 2008 López <i>et al.</i> , 2010
Templo Mayor, DF 1999	1	Posclásico	Hueda, 2000
Templo Mayor, DF 2002	1	Posclásico	Rodríguez, 2003
Templo Mayor, DF 2004	1	Posclásico	Goguitchaichvili, <i>et al.</i> , 2004
Cacaxtla, Tlaxcala, 2004	1	Clásico	Goguitchaichvili, <i>et al.</i> , 2004
Cholula, Puebla, 2004	2	Clásico	Goguitchaichvili, <i>et al.</i> , 2004
Tlatelolco, DF 2002	2	Posclásico	Guerrero, 2003
Teotihuacán, México	2 4	Preclásico Clásico	Terán, 2012
Xalasco, Tlaxcala	3	Clásico	Terán, 2012
Sierra de las Navajas, México	3	Clásico	Terán, 2012
Los Grifos, Chiapas	3 2	Preclásico Posclásico	Fregoso, 2010
Templo Mayor, DF 2012	7	Posclásico	Soler <i>et al.</i> , 2012 Soler y Barrera, 2013
Coyoacán, DF 2006	3	Posclásico	Soler, 2012
Coyoacán, DF 2012	1	Clásico	Soler <i>et al.</i> , 2013

Tabla 1. Relación de sitios muestreados con fines de arqueomagnetismo a partir del año 1999. Se muestra la ubicación y año, número de muestras por temporalidad y la referencia en cuyos resultados fue reportado. La ubicación de los sitios se muestra con triángulos y estrellas en la Fig. 4.

Una primera versión de curva de variación secular para el centro de México fue construida con los datos de Wolfman de 1990, datos de rocas volcánicas y sedimentarias (Urrutia, 1996 y Latham, *et al.*, 1986). La curva fue realizada con una ventana de 100 años y calculando la dirección promedio cada 50 años, suponiendo una distribución Fisher no ponderada (Hueda *et al.*, 2004, Soler *et al.*, 2006).



Para realizar la datación arqueomagnética en estos estudios se utilizó el método de punto de intersección (Le Goff *et al.*, 2002; Noel and Batt, 1990). Como puede haber más de un punto de intersección se utiliza la estratigrafía realizada por el arqueólogo para determinar el más probable. A partir de 2010 se comenzó a utilizar el software RENDATE (Lannos, 2004) que emplea estadística bayesiana y muestreo jerárquico.

Después de la tesis de Hueda (2000), se comenzó un trabajo intensivo por parte del Laboratorio de Paleomagnetismo de la UNAM que se ha reportado en su mayoría en tesis de licenciatura en Física y Arqueología. En la Tabla 1 se presentan los 16 sitios muestreados (referidos en Fig. 4, triángulos amarillos) y las temporadas de trabajo.

La Figura 7 nos muestra las direcciones de los arqueopolos para Mesoamérica, ya que cubre datos desde México hasta Honduras (Wolfman, 1990), también se muestran los resultados desde 1999 realizados por el Laboratorio de Paleomagnetismo de la UNAM. Las muestras tomadas a partir de 1999 fueron desmagnetizadas mediante campos alternos hasta 100 mT y se determinaron propiedades magnéticas como susceptibilidad, magnetización remanente isotermal, ciclos de histéresis y anisotropía de susceptibilidad magnética. En la mayoría de los estucos se encontraron como portadores de la magnetización a titanomagnetitas pobres en titanio y estructuras de dominio pseudosencillo, lo que correlaciona con la presencia de ceniza y escoria volcánica molida.

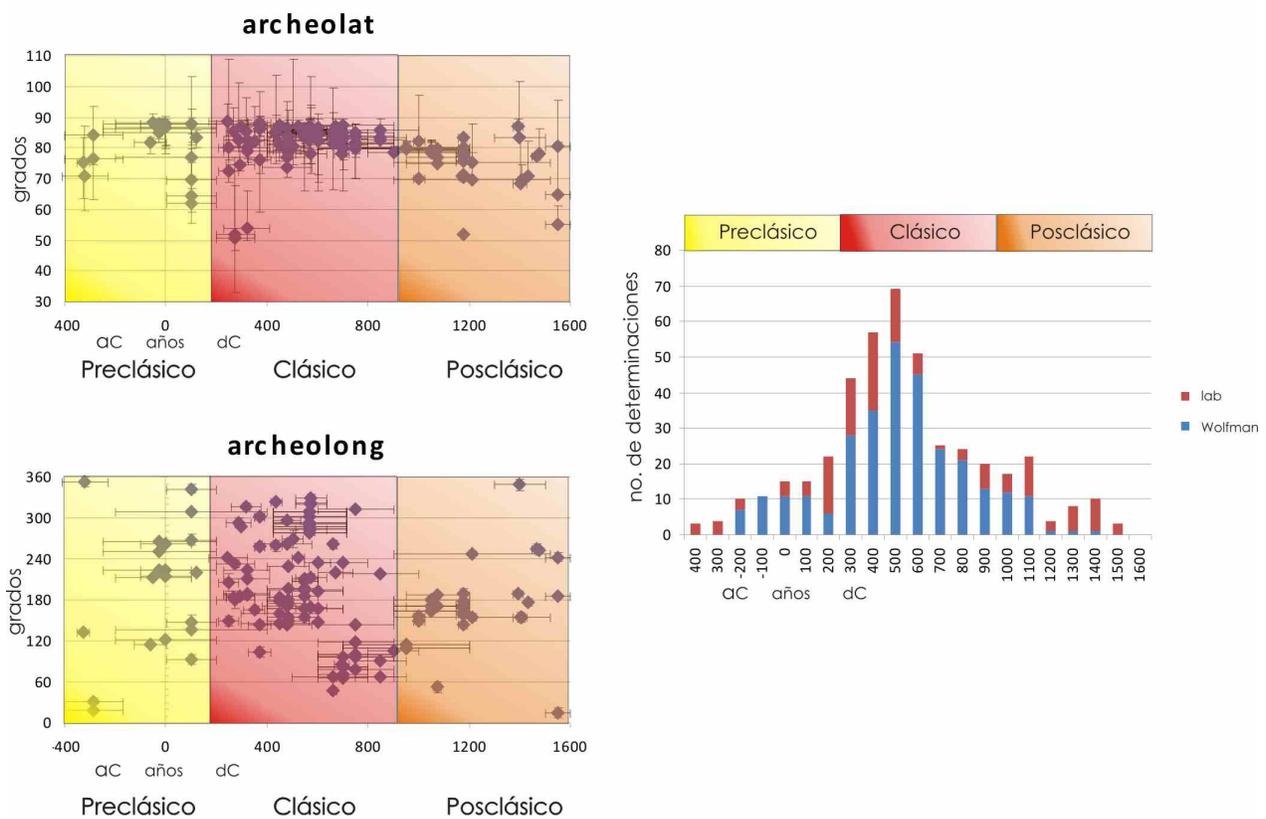


Figura 7. Direcciones polares para Mesoamérica: archeolatitud y arquelongitud hasta el año 2012. (Datos de Wolfman, 1999 y de la Tabla 1). Histograma de número de determinaciones de arqueodirecciones, las rojas corresponden a Wolfman, 1999 y las azules a datos de la Tabla 1.



Como puede observarse tanto en las gráficas de direcciones como en el histograma se requieren coleccionar más muestras para el Preclásico entre 300 y 100 aC y para el Posclásico entre 1200 y 1500 dC.

De igual forma se viene trabajando en las arqueointensidades desde 2006, la Tabla 2 muestra los 9 sitios de proveniencia de las muestras (referidas en Fig. 4, pentágonos naranjas), las temporalidades y autores de los trabajos.

SITIO	Número de muestras	Temporali- dad	Referencia
Kaminaljuyu, Honduras	10	Preclásico	Alva, 2010
Cuanalan, Teotihuacán Mexico	8	Preclásico	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
Ocozocuautila, Chiapas	1 4	Preclásico Clásico	Morales <i>et al.</i> , 2009
Palenque, Tabasco	5	Clásico	Fanjat <i>et al.</i> , 2012
Capacha, Colima	6	Preclásico	Morales <i>et al.</i> , 2013
Tzintzuntzan, Michoacán	4	Clásico	Morales <i>et al.</i> , 2012
San Jose Mogote, Oaxaca	7	Preclásico	Petronille <i>et al.</i> , 2012
Opeño, Jalisco	14	Posclásico	Pineda <i>et al.</i> , 2010
Quiahuiztlan, Veracruz	10	Posclásico	López-Téllez, <i>et al.</i> , 2008

Tabla 2. Relación de sitios muestreados con fines de arqueointensidades a partir del año 2009. Se muestra la ubicación, número de muestras por temporalidad y referencia en cuyos resultados fue reportado. La ubicación de los sitios se muestra con círculos y pentágonos en la Fig. 4.

La Figura 8 muestra las determinaciones de arqueointensidades, podemos observar un valor medio del campo de $8.65 \pm 3.15 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ valor muy similar al reportado por McElhinny y Senanayake en 1982 (Fig. 3). El histograma denota claramente la necesidad de un mayor número de determinaciones en particular para el Preclásico del 1200 al 300 aC, como también del 1200 al 1300 dC. Entre 100 aC y 500 dC es necesario una mayor número de determinaciones para un mejor análisis de dispersión.

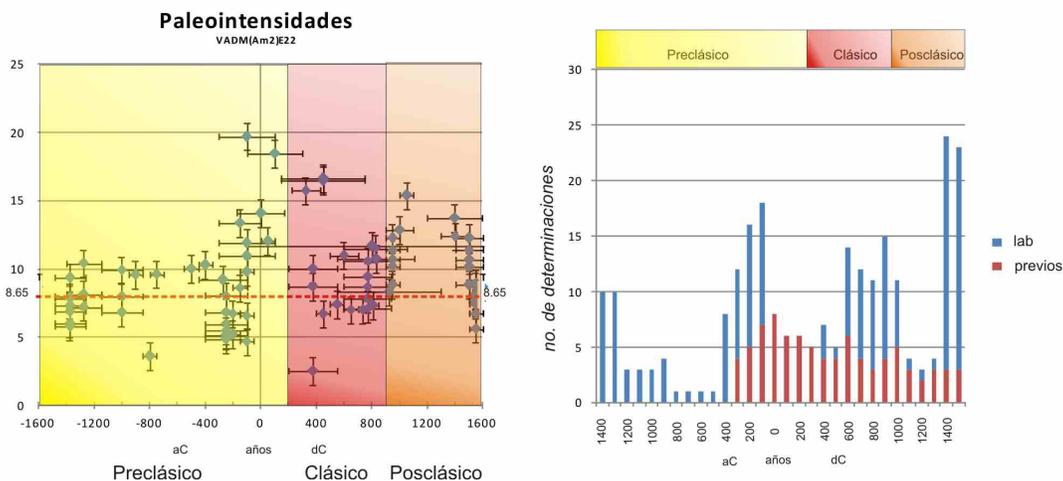


Figura 8. Paleointensidades para Mesoamérica VADM determinadas desde 2008 (Datos de Tabla 2). Histograma de número de determinaciones de arqueointensidades, las rojas corresponden a trabajos previos de 1965 a 1986 y los azules a datos de la Tabla 2.



Es claro de la compilación de datos presentada que tanto en arqueodirecciones como en arqueointensidades es necesaria la toma y el procesamiento de un mayor número de muestras para la realización de dataciones arqueomagnéticas.

Referencias

- Aguilar-Parra L. I., Morales-Sánchez R., 2011. Estudio arqueomagnético: Una aplicación a la cronología de la arquitectura de tierra en el sitio "La Joya", Veracruz, Tesis Licenciatura Arqueología, ENAH, México 182 pp.
- Alva L., Morales J., Popenoe de Hatch M., Hernández-Bernal M. S., Mariano-Matías F., 2010. Absolute geomagnetic intensity data from preclassic Guatemalan pottery. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 180, 41-51.
- Barbetti M., 1977. Measurements of recent geomagnetic secular variation in southeast Australia and the question of dipole wobble. *Earth. Planet. Sco. Lett.*, 36, 207-218.
- Böhnel H., Molina R., 2002. Secular variation in Mexico during the last 40,000 years. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 133, 99-109.
- Bucha V., Taylor R. E., Berger R, Haury, E. W. 1970. Geomagnetic Intensity: Changes during the Past 3000 years in Western Hemisphere, *Science*, 168, 111-114.
- Carlson J.B., 1975. Loadstone compass Chinese or Olmec primacy? *Science*, 189, 753-760.
- Chiari G., Lanza R., 1997. Pictorial remanent magnetization as an indicator of secular variation of the Earth's magnetic field. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 101, 79-83.
- Coe, M. D., 1967. Olmec civilization, Veracruz, Mexico: Dating of San Lorenzo Phase, *Science*, 155, 1399-1401.
- Daly L., Le Goff M. 1996. An updated and homogeneous world secular variation data base. Smoothing of the Archaeomagnetic results. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 159-190
- Eighmy J. L., Hathaway J. H., Kane A. E., Archaeomagnetic secular variation in American Southwest, A.D. 700-900: Final Results from the Dolores Archaeological Program, 1990. In Archaeomagnetic dating Eghmy, J. L. y R. S. Sternberg editors, University of Arizona Press, Tucson.
- Fanjat G., Camps P., Alva-Valdivia L. M., Sougrati M. T., Cuevas-García M., Perrin M., 2012. First archeointensity determinations on Maya incense burners from Palenque temples, Mexico: New data to constrain the Mesoamerica secular variation curve. *Earth and Planet Science Letters*, 363, 168-180.
- Fregoso D. 2010. Estudio Arqueomagnético del Abrigo Rocoso "Los Grifos", Chiapas. Sitio de Ocupación Temprana en América., Tesis de Física, Fac. Ciencias, UNAM, Mexico, 124 pp.
- Goguitchaichvili A., Soler A. M., Zanella E., Chiari G., Lanza R., Urrutia-Fucugauchi J., González, T. 2004. Pre-Columbian mural paintings from Mesoamerica as geomagnetic field recorders. *Geophysical Research Letters*, 31, 12, L12607
- Guerrero-Sandoval X. 2003. Análisis arqueomagnético de estucos del valle de México. Tesis Licenciatura Física, Fac. Ciencias, UNAM, México, 31 pp.



- Hagstrum J. T., Blinman E., 2010. Archeomagnetic dating in western North America: An updated reference curve base on paleomagnetic and Archeomagnetic data sets. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 11, Q06009, doi:10.1029/2009GC002979.
- Hernández-Ávila E. R., 2010. Control Cronométrico basado en arqueomagnetismo de Teopancazco, Estado de México, Tesis Licenciatura Física, Fac. Ciencias, UNAM, Mexico, 104 pp.
- Hueda Y., 2000. Fechamiento arqueomagnéticos de estucos de los sitios de Teopancazco, Teotihuacan y Templo Mayor, Tenochtitlan. Tesis Licenciatura Arqueología, ENAH, México, 128 pp.
- Hueda Y., Soler A. M., 2001. Fechamiento arqueomagnético de estucos en sitios de Teopancazco, Teotihuacan, Templo Mayor, Tenochtitlán. Informe presentado al Consejo de Arqueología. Agosto de 2001.
- Hueda Y., Soler-Arechalde A. M., Urrutia-Fucugauchi J., Barba L., Manzanilla L., Rebolledo M., Goguitchaishvili A., 2004. Arcaheomagnetic studies in central México – dating of Mesoamerican lime-plasters. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 147, 269-283.
- Lannos P., 2004. Bayesian Inference of calibration curves: application to archaeomagnetism. In Tools for Constructing Chronologies Crossing Disciplinary Boundaries, Buck, C.E. y Millard, A.R. Eds. *Lecture Notes in Statistics*, 177, Springer-Verlag, London, 43-82.
- Latham A. G., H. P. Schwarz, Ford D. C., 1986. The paleomagnetism and U-Th dating of Mexican stalagmite, DAS2. *Earth and Planetary Science Letters*, 79, 195-207.
- Le Goff M. Y., Gallet A., Genevey, Warmé N., 2002. On Archaeomagnetic secular variation curves and Archaeomagnetic dating. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 4160, 1-9.
- López-Delgado V., Soler-Arechalde A. M., G. Espinosa-Rodriguez, Goguitchaichvili A., 2010. Rock-magnetic and Archeomagnetic survey from some Classical settlements at Chapultepec Archeological site (western Mesoamerica). *Stud. Geophys. Geod.*, 55, 329-342.
- López-Delgado V., 2008. Fechamientos Arqueomagnéticos en Chapultepec. Evidencia de Presencia Teotihuacana. Tesis Licenciatura Física, Fac. de Ciencias, UNAM, 61 pp.
- López-Tellez, J. M., Aguilar-Reyes B., Morales J., Goguitchaichvili A., Calvo-Rathert M., Urrutia-Fucugauchi J., 2008. Magnetic characteristics and archeointensity determination on Mesoamerican Pre-Columbian Pottery from Quiahuiztlan, Veracruz, Mexico. *Geofísica Internacional*, 47 (4), 329-340.
- Malmstrom V. 1976. Knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamérica, *Nature*, 259, 390-391.
- Martínez-Miranda V., 2012. TULA -EL TIEMPO PERDIDO- Fechamientos arqueomagnéticos. Tesis Licenciatura Arqueología, ENAH, México, 191 pp.
- McElhinny, M. W., Senanayake W. E., 1982. Varitations in the geomagnetic dipole 1: The past 50 000 years. *J. Geomag. Geoelectr.*, 34, 39-51.
- Morales J., Goguitchaichvili A., Acosta G., González-Morán T., Alva-Valdivia L. M., Robles-Camacho J., Hernández-Bernal M.S., 2009. Magnetic properties and archeointensity determination on Pre-Columbian pottery from Chiapas, Mesoamerica. *Earth Planets Space*, 61, 83-91.



- Morales, J., Goguitchaichvili A., Aguilar-Reyes B., Pineda M., Carvallo C., Beramendi-Orozco L., González-Hernández G., Ontiveros A., 2012. Rock-magnetic and Archeointensity Investigation of Pottery and a Burned Floor at the Tzintzuntzan Archaeological Site, Western Mexico. *Geoarchaeology: An International Journal*, 27, 521-537.
- Morales, J., Goguitchaichvili A., Olay-Barrientos M. A., Carvallo C., Aguilar-Reyes B., 2013. Archeointensity investigation on pottery vestiges from Puertas de Rolón, Capacha Culture: In search for affinity with other Mesoamerican pre-Hispanic cultures. *Stud. Geophys. Geod.*, 57, 605-626.
- Nagata T., Kobayashi K., Schwarz E. J., 1965. Archeomagnetic intensity studies of South and Central America. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 17 (3-4), 399-405.
- Noel M., Batt. C., 1990. A method for correcting geographically separated remanence directions for the purpose of Archaeomagnetic dating. *Geophysical Journal International*, 102, 753-756
- Petronille M., Goguitchaichvili A., Morales J., Carvallo C., Hueda-Tanabe Y., 2012. Absolute geomagnetic intensity determinations on Formative potsherds (1400-700 BC) from the Oaxaca Valley, Southwestern Mexico. *Quaternary Research*, 78 (3), 442-453.
- Pineda M., Goguitchaichvili A., Morales J., Aguilar-Reyes B., Alva-Valdivia L. M., Ontiveros-Morales, Calvo-Rathert M., González-Morán T., Robles, J., Camacho A., 2010. Magnetic Properties and archeointensity of Earth's Magnetic Field recovered from El Opeño, earliest funeral architecture known in western Mesoamerica. *Stud. Geophys. Geod.*, 54, 575-593.
- Rodríguez-Ceja M. 2003. Análisis y Fechamiento Arqueomagnético de estucos de zonas habitacionales de Teotihuacan (Xalla) y Templo Mayor. Tesis Licenciatura Física, Fac. Ciencias, UNAM, México, 64 pp.
- Rodríguez-Ceja M., Goguitchaichvili A., Morales, J., Ostrooumov, M., Manzanilla L. R., Aguilar-Reyes B., Urrutia-Fucugauchi J., 2009. Integrated archeomagnetic and micro-Raman spectroscopy study of pre-Columbian ceramics from the Mesoamerican formative village of Cuanalan, Teotihuacan Valley, Mexico, 2009. *Journal of Geophysical Research*, 114, B04103, doi:10.1029/2008JB006106.
- Romero-Hernández E., 2008. Fechamientos Arqueomagnéticos de pisos con control estratigráfico de la excavación Teopancazco 2005, Teotihuacan. Tesis Licenciatura Física, Fac. de Ciencias, UNAM, México 51 pp.
- Saavedra-Cortes S. P., 2010. Estudio arqueomagnético en el área de Tecamac, Estado de México, Tesis Licenciatura Física, Fac. Ciencias, UNAM, México, 85 pp.
- Sánchez F., 2005. Nuevos fechamientos arqueomagnéticos en Xalla y Teopancazco, zonas habitacionales de Teotihuacán. Tesis Licenciatura Física, Fac. Ciencias, UNAM, México, 90 pp.
- Siebe C., 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 45-64.
- Soler-Arechalde A. M., 2006. Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco Temporada 2004.
- Soler-Arechalde A. M. 2012. Reporte de datación Arqueomagnética de Fernández Leal, Coyoacán, D.F.
- Soler-Arechalde A. M., Barrera A. 2013. Reporte de Datación Arqueomagnética Ofrenda 161, Plaza Manuel Gamio, Templo Mayor DF.



- Soler-Arechalde A. M., Barrera, A., Martínez-Longoria A., 2013. Reporte de Datación Arqueomagnética Templo de la Inmaculada Concepción, Coyoacán, D.F.
- Soler-Arechalde A. M., Barrera A., Morales R., 2012. Reporte de datación Arqueomagnética de Templo Mayor, Ciudad de México.
- Soler-Arechalde A. M., Hueda-Tanabe Y., 2006. Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco Temporada 2000 Revisión.
- Soler-Arechalde A. M., Miranda C., 2008. Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco 2006.
- Soler-Arechalde A. M., Orea A., Caballero-Miranda C., 2008. Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco 2007.
- Soler-Arechalde A. M., Sánchez F., Rodríguez, M., Caballero-Miranda C., Goguitchaishvili A., Urrutia-Fucugauchi J., Manzanilla L., Tarling D. H., 2006. Archaeomagnetic investigation of oriented pre-Columbian lime-plasters from Teotihuacan, Mesoamerica *Earth Planets Space*, 58 (10), 1433-1439
- Sternberg R. S., McGuire R. H., 1990. Archaeomagnetic Secular variation in the American Southwest, A.D. 700-1450. In Archaeomagnetic dating Eghmy, J. L. y R. S. Sternberg editors, University of Arizona Press, Tucson.
- Terán-Guerrero A. G., 2012. Estudios arqueomagnéticos en Ciudadela, Sierra de las Navajas y Xalasco, Cultura Teotihuacana. Tesis maestría, Posgrado Ciencias de la Tierra. UNAM, México, 155 pp.
- Thellier E., Thellier O., 1959a. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.*, 15, 285-376.
- Thellier E., Thellier O., 1959b. The intensity of the geomagnetic field in the historical and geological past. *Akad. Nauk. SSR. Izv. Geophys. Ser.*, 1296-1331.
- Urrutia J., 1975. Investigaciones Paleomagnéticas y arqueomagnéticas en México. *Anal. Inst. Geofís UNAM*, 21, 27-34.
- Urrutia J., 1996. Palaeomagnetic study of the Xitle-Pedregal de San Angel lava flow, southern Basin of México. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 97, Ed. Elsevier Science, Amsterdam, 177-196.
- Urrutia J., Maupome L., Brosche P., 1981. Archaeomagnetic research programme, I. An introduction to the knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamerica. *Int. Rep., Inst. Geofís., UNAM, Mexico & Obs. Hoher List der Univ. Sternwarte, Bonn, Germany*, 25 pp.
- Urrutia J., Maupome L., Brosche P., 1986. El compás magnético en China y Mesoamérica. *Bol. GEOS*, 6, (3), 5-7.
- Wolfman D., 1973. A re-evaluation of Mesoamerican chronology: AD 1-1200. Ph D Thesis, Colorado University, USA, 293 pp.
- Wolfman D., 1990. Mesoamerican chronology and archaeomagnetic dating, AD 1-1200. In Archaeomagnetic dating Eghmy, J. L. y R. S. Sternberg editors, University of Arizona Press, Tucson.