



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA**

**APORTES A LA CRONOLOGÍA ABSOLUTA DE SITIOS ARQUEOLÓGICOS
DEL OCCIDENTE DE MÉXICO MEDIANTE ESTUDIO MAGNÉTICO INTEGRAL
DE ESTRUCTURAS QUEMADAS *IN SITU***

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS DE LA TIERRA (GEOFÍSICA DE LA TIERRA SOLIDA)**

PRESENTA:

VERÓNICA LÓPEZ DELGADO

TUTOR:

**DR. AVTANDIL GOGICHAISHVILI
INSTITUTO DE GEOFÍSICA UNIDAD MICHOACÁN**

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

**DRA. ANA MARÍA SOLER ARECHALDE
INSTITUTO DE GEOFÍSICA**

**DR. JUAN JULIO MORALES CONTRERAS
INSTITUTO DE GEOFÍSICA UNIDAD MICHOACÁN**

CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría.

Todas las citas de, o referencias a la obra de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

Asunto: Aprobación de tema, asesor de tesis y asignación de jurado para examen de grado.

VERÓNICA LÓPEZ DELGADO
ESTUDIANTE DE DOCTORADO
P R E S E N T E,

El Comité Académico del Posgrado, reunido el 25 de agosto del año en curso, APROBÓ el título de tesis "*Aportes a la cronología absoluta de sitios arqueológicos del occidente de México mediante estudio magnético integral de estructuras quemadas In Situ*", así mismo ratificó al Dr. Avtandil Gogichaishvili, como su asesor de tesis y designó a los siguientes investigadores como jurado para su examen de grado.

Dr. René Chávez Segura	Presidente
Dr. Luis A. Barba Pingarrón	Vocal
Dr. Avtandil Gogichaishvili	Secretario
Dr. Juan Rodrigo Esparza López	Suplente
Dr. Manuel Calvo Rathert	Suplente

Se le recuerda que con base en la situación mundial el examen podría ser presencial o por videoconferencia.

Sin otro particular por el momento, reciba un saludo cordial.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Ciudad de Morelia, Michoacán; a 25 de agosto de 2020

Responsable académico ENES Morelia



Dr. Antonio Pola Villaseñor

Institutos de Geofísica, Geología, Geografía e Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Centros de Ciencias de la Atmósfera y de Geociencias, Facultades de Ciencias e Ingeniería.
Tels. 5622-4130, 5622-4324 ext. 122,
<http://www.pctierra.unam.mx>
pctierra@unam.mx

A mi familia de sangre y la elegida

A los muertos de mi felicidad

Que las ciencias y las artes empeñen su esfuerzo por la vida

Y que resistencia y rebeldía sean nuestra guía

DEDICATORIA

A Ceci quien resistió, luchó, venció y se levantó. Contigo todos nosotros renacimos. Gracias por tu fuerza, por la vida y por siempre siempre siempre ser mi Mamá.

A Jaime por la compañía, alegría y soporte de aventuras. Por ayudar y ser tan bueno siempre. Por ser el mejor abuelo del mundo. Gracias por ser mi Papá.

A Fabián compañero querido de vida, con tu cariño y presencia la existencia es mejor. Al mejor Papá del mundo por tus consejos, ejemplo y resistencia, gracias Hermano mayor.

A Bali por ser la alegría de nuestra vida, por disfrutar y hacerme parte de tu crianza, por los viajes y aventuras hechos y por los que vendrán. Gracias por tu comprensión, cariño y enseñanzas, gracias por ser mi Sobrijo.

A mi familia extendida que a la distancia nos procuran y reciben en sus corazones y hogares: Eli, Luisa, Tina, Chivis, Hilda, Jorge, Octavio, Margie y Juan, Caro y Mario, Trini, Coco, Laura y Alejandro, Pepi, Armando, Gabo y Mary, Chachi y Vivian.

A mis amigas y amigos de la vida, por su amor, presencia, alegría y sentir en todo momento. Por ser, estar, levantarme e impulsarme siempre: Natalia y Miriam, Sofi y Cyn, Laura y Ales, Fabi y Pablo, Ane, Lalo, Anetxu y Angie; Many, Moi, Dori, Tech, Mon, Eri, Miri y Deo, Devi, Hort y Lupita, Elo, Lui, Gabriel y Pedrito; Pilar, Beni, Lev, Mariana, Dave e Iso, Lissa, Ellis, Helen, Dami y Lu; Gaby C., Pau y Emm, Jani y Julio, Fer, Lagu; Rous y Rut, Oskar, Ale y Alvaro, Bethsa, Oso y Efra.

A los gigantes sobre quienes nos levantamos en hombros, a todos los que hicieron ciencia, inventos y arte por la humanidad.

A los que vienen, que con libertad imaginen un mundo nuevo, desarrollen ideas, soluciones y construyan realidades distintas.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa desde el bachillerato, por su formación, soporte, infraestructura, libertad y diversidad, por todas las lecciones que su comunidad entera ha contribuido a mi ser. Por mantenerse como espacio público y accesible para todo aquel que la busque. Por ser digna y actuar en consecuencia en las mejores y peores circunstancias. Agradezco particularmente al Posgrado en Ciencias de la Tierra, al Instituto de Geofísica-CU-Unidad Michoacán, al Servicio Arqueomagnético Nacional y a la Facultad de Ciencias.

A mi tutor el Dr. Avto Gogichaishvili por la invitación, guía e impulso para llevar a cabo este proyecto. A los miembros del comité tutor, Dr. Avto, la Dra. Ana María Soler Arechalde y Dr. Juan Julio Morales Contreras, por su apoyo, soporte, conocimientos compartidos, opiniones y consejos que me brindaron a lo largo de este largo proceso. Mi agradecimiento y admiración siempre.

A los miembros del jurado examinador, los Doctores René Chávez Segura, Luis Alberto Barba Pingarrón, Juan Rodrigo Esparza López y Manuel Calvo Rathert, por su revisión, observaciones y correcciones al presente trabajo. Agradeciéndoles ampliar mi panorama y mejora del escrito, su valiosa atención y correspondencia en pandemia.

A la coordinadora Dra. Christina Siebe, a Araceli Chaman Gamez, Laura Mendoza, Gloria, Erica, Janette Huante, Dr. Mario Rodríguez, Dr. Gabriel Vázquez y Dr. Antonio Pola del Programa de Posgrado por su apoyo, asesoría e integración para con los estudiantes, especialmente en el largo confinamiento. Araceli por tu excelente calidad humana, paciencia, solidaridad y apoyo, gracias siempre.

Al programa de Becas Nacionales CONACYT 2016, y a los proyectos CONACYT No. 252149 y UNAM-PAPIIT No. IN101920.

Al Dr. Carlos Torreblanca, Dr. Peter Jimenez, Dr. Rubén Cejudo y Dr. Francisco Bautista por su colaboración en los trabajos del sitio La Quemada, Zacatecas.

A la Dra. Lidia Rodríguez y el Arqlgo. Israel Morales por su colaboración en el proyecto del sitio Lo de Juárez, Guanajuato. Al INAH Guanajuato, a las Arqlgas. Luz María Flores Morales y Lizbeth Pérez.

A la Dra. Chloé Pomedio y el "Proyecto Arqueología de la Sierra de Manantlán" UdeG-CONANP-INAH Jalisco.

A la Dra. Cinthia Campos por su colaboración en el estudio de Cueva de la Huachizca, al Dr. Jose Luis Punzo y el "Proyecto Arqueología y Paisaje del Área Centro Sur

de Michoacán" (PAPACSUM), a la comunidad de Santa Clara del Cobre por permitir acceso al sitio, al Dr. Jasinto Robles, al INAH-Jalisco, a los Arqlgos. Alejandro Valdés-Herrera y Lissandra González-González, al geólogo Christopher Lloyd, al espeleólogo Luis Rojas, al Biol. Jorge Schondube, al Dr. James E. Brady, al Instituto Arqueológico de América y a la National Speleological Society.

Al Dr. Juan Rodrigo Esparza López y al Centro de Estudios Arqueológicos de El Colegio de Michoacán, A. C., al Mtro. Teruaki Yoshida (Universidad de Tokai, Japón), al Arqlgo. Mario Rétiz García (Colmich), al Mtro. Francisco Rodríguez Mota (Proyecto Presa de la Luz) y al Mtro. Arnulfo Salazar (Municipio de Jesús María, Jalisco) por su colaboración en el estudio del sitio El Cerrito de Los Agaves, Altos de Jalisco.

A los miembros del IG-UM por su apoyo, asesoría, amistad y hacerme sentir como en casa: Adriana Briseño, Madelaine Martínez, Rubén Cejudo, Ángela Alejo, Miguel Cervantes, Rafael García, Rosario Vazquez, Fabiola Mendiola, Marcela Lira, Lisa Kapper, Berenice Solís, Pedro Corona.

A los miembros del IG-CU por ser mi segunda casa, por su amistad y apoyo en mi formación académica: Ane Soler, Cecilia Caballero, Margarita Caballero, Galia González, Ofelia Morton, Jaime Urrutia, Luis Alva, Beatriz Ortega, Toño Gonzáles, Esteban Hernández, Ana Caccavari, Ángel Ramírez, Xyoli Perez, Mario Islas, Caridad Cárdenas, Sara Franco, Teodoro Hernández, Sergey Sedov, Elizabeth Solleiro, a la señora Aída, a Graciela Solache, al señor Victor Macías, Martín Espinosa; Dani Estrada y Manuel Luna.

A los miembros de la Red de Ciencias Aplicadas a la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural por su visión integral de la investigación que puede y debe ser. En particular a Luis Barba, Jose Luis Ruvalcaba, Guillermo Acosta, Laura Beramendi, Agustín Ortiz, Luisa Straulino, Hilda Lozano, Tamara Cruz, Diana Martínez, Edgar Casanova, Mayra, Paulina, Meztli, Ángela e Itzayana.

Al programa de Escritura Académica en Inglés UNAM por su excelente asesoría y formación para el desarrollo de artículos científicos: Susana Kolb, Jose Antonio Alonso y Paulina Álvarez.

A mis compañeros del Posgrado en Ciencias de la Tierra por su compañía, apoyo y ejemplo: Arnaldo Cardona, Alan Barrera, Miriam Velasco, Manuel Bravo, Alejandro Rosado, Anuar Terán, Raúl Corona, Nayeli Pérez, Berenice Gómez, Bernardo García, Diana, Rubén y Alex. Sofía Zorrilla y Santiago López por ser mi familia foránea.

A mis alumnas y alumnos de la Fac. de Ciencias, Química, Yaocalli y Zarah.

A mis compañeras de vida y camino.

CONTENIDO

Resumen	1
Introducción	3
Capítulo 1. Fundamentos teóricos del campo geomagnético y metodología arqueomagnética	9
1.1 Origen y descripción del campo geomagnético	9
1.2 Magnetización de materiales	21
1.3 Metodología arqueomagnética	28
1.3.1 Arqueodirecciones	28
1.3.2 Arqueointensidad	31
Capítulo 2. Investigaciones Arqueomagnéticas en México	49
Capítulo 3. De Chupícuaro al despoblamiento de la Frontera Septentrional. Evidencia arqueomagnética desde el sitio Lo De Juárez (Guanajuato, México).	74
Capítulo 4. La Quemada	97
4.1 La Quemada: Caída y abandono en dos etapas del periodo Clásico en la frontera norte de Mesoamérica	97
4.2 Juego de Pelota en La Quemada, Zacatecas: Contribuciones cronológicas absolutas mediante el estudio arqueomagnético de fogones asociados	118
Capítulo 5. Estudio arqueomagnético del piso quemado en La Palma, Valle de Cuzalapa, Sierra de Manantlán (Jalisco): Implicaciones arqueológicas y geomagnéticas	143
Capítulo 6. Aportes a la cronología absoluta del sitio El Cerrito de Los Agaves en la parte Suroriental de los Altos de Jalisco, México	171
Capítulo 7. Una interpretación de la Cueva de la Huachizca, Santa Clara del Cobre, Michoacán, México	190
Discusión y Conclusiones generales	215
Anexo. Artículos publicados	224

RESUMEN

Estudios de arqueomagnetismo fueron desarrollados en cinco sitios arqueológicos del Occidente de México sobre contextos quemados hallados y orientados *in situ*. Utilizando métodos de arqueodirección y arqueointensidad se estudiaron pisos quemados, hornos, fogones y cerámica de los sitios: La Quemada (Zacatecas), Lo De Juárez (Guanajuato), La Palma, Manantlán (Jalisco), Cueva de la Huachizca (Michoacán) y El Cerrito Los Agaves (Jalisco). Las muestras estudiadas fueron sometidas a experimentos de minerales magnéticos con el fin de caracterizar portadores de magnetización. Las determinaciones arqueomagnéticas con un modelo global geomagnético estimaron temporalidades con mayor probabilidad de ocurrencia para el último contacto con el fuego. Las temporalidades obtenidas comprenden intervalos desde el Formativo Tardío al Posclásico, incluyendo un sitio Contemporáneo, en su mayoría resultados esperados de los contextos arqueológicos sin embargo algunas dataciones plantean nuevas hipótesis sobre movimientos y dinámicas culturales de las poblaciones prehispánicas aún bajo investigación. Las determinaciones geomagnéticas del pasado son las primeras de su tipo regionalmente y presentaron intervalos de tiempo con pocos datos arqueomagnéticos. Este trabajo aporta datos arqueomagnéticos que contribuye a la caracterización del campo magnético terrestre antiguo e incorpora 12 nuevos eventos en la cronología del occidente mexicano. Estudios multidisciplinarios como el presente, generan conocimientos geofísicos y arqueológicos de frontera.

Palabras clave: Arqueomagnetismo, arqueointensidad, arqueometría, Occidente de México, geofísica, datación, cronología, arqueología.

ABSTRACT

Detailed Archaeomagnetic studies were carried out on five archaeological sites in Western Mexico using burned artifacts oriented in situ. Both archaeodirection and archaeointensity methods were applied on burned floors, furnaces, stoves and pottery samples belonging to La Quemada (Zacatecas), Lo De Juárez (Guanajuato), La Palma, Manantlán (Jalisco), Cueva de la Huachizca (Michoacán) and El Cerrito Los Agaves (Jalisco). The studied samples were subjected to magnetic mineral experiments in order to characterize remanent magnetization carriers. Most reliable global geomagnetic model was used for dating purpose. The temporalities obtained include intervals from the Late Formative to the Postclassic, with single Contemporary site. Although most time intervals agree with currently available archaeological models, some dates raise new hypotheses about the moments and cultural dynamics of pre-hispanic populations still under investigation. This work provides new archaeomagnetic data that contributes to the characterization of the ancient earth's magnetic field and incorporates 12 new events in the absolute chronology of Western Mexico. These studies may be considered as part of frontier research with mutual benefit for geophysics and archaeology.

Key words: Archaeomagnetism, archaeointensity, archaeometry, Western Mexico, geophysics, dating, chronology, archaeology.

INTRODUCCIÓN

El arqueomagnetismo es un ejemplo de la naturaleza interdisciplinaria de la mayor parte de las investigaciones arqueométricas. Ésta requiere tanto de expertos en ciencias de la tierra como en arqueología, y los resultados benefician a ambas disciplinas. El geofísico puede obtener información acerca de la magnetización de los materiales y del comportamiento del campo geomagnético mientras que el arqueólogo puede usar el arqueomagnetismo como una herramienta para datar piezas arqueológicas horneadas como mostró Sternberg (2008).

Cuando se conoce la edad del objeto o del último calentamiento que haya sufrido por otro método de datación o registro histórico, los datos de arqueodirección y arqueointensidad obtenidos se pueden incorporar a una curva maestra correspondiente a la región donde se adquirió la remanencia. Debido a la importancia de las componentes del campo no dipolar en la variación secular, las curvas maestras direccionales solamente pueden ser construidas para áreas de tamaño subcontinental, de no más de 1 000 km de radio. Las variaciones espaciales en la intensidad generalmente se modelan usando un modelo de dipolo axial geocéntrico del campo geomagnético. Los datos arqueomagnéticos se pueden emplear para datar objetos arqueológicos. La datación se lleva a cabo comparando los datos direccionales y de intensidad del objeto arqueológico estudiado, de edad desconocida, con una curva de referencia. Por otra parte, si se conoce la edad del objeto o de su último calentamiento, los datos arqueomagnéticos y de arqueointensidad pueden utilizarse para conocer las características del campo magnético terrestre en épocas históricas anteriores a las medidas directas o prehistóricas. Por otra parte, a partir del análisis de armónicos esféricos se han construido en la última década modelos globales del campo magnético terrestre con datos arqueomagnéticos y de arqueointensidad, procedentes de objetos arqueológicos, coladas volcánicas y registros de sedimentos lacustres (por ejemplo, Korte et al., 2009). También se han desarrollado modelos regionales específicos de variación secular a partir de datos arqueomagnéticos y de arqueointensidad de objetos arqueológicos y secuencias de sedimentos, que se han ajustado a series

de funciones (por ejemplo, Pavón-Carrasco et al., 2014). Este tipo de modelos permite determinar una curva de variación secular de un lugar designado dentro de la región de estudio. Para abonar en la mejora de modelos geomagnéticos globales del pasado y construcción de curvas maestras de variación secular regionales es necesario realizar nuevos estudios arqueomagnéticos.

¿Cómo se puede mejorar nuestra comprensión del campo geomagnético del pasado en el Occidente de México a través de arqueomagnetismo?

¿Cómo se puede mejorar la resolución de la curva maestra de variación secular para México en los periodos 1 800 AC a 0, y entre 650 DC a la fecha?

¿Mejoraría la curva maestra de intensidad existente vinculando arqueointensidades con datos radiométricos de sitios arqueológicos conocidos?

¿El arqueomagnetismo puede contribuir al registro de fases constructivas y variaciones de técnicas de cerámica en los contextos arqueológicos?

Del análisis crítico de los resultados arqueomagnéticos de direcciones e intensidad obtenidos durante la última década se desprende lo siguiente:

a) Es notoria la ausencia de nuevos datos de intensidad entre 650 DC y la actualidad, y entre 0 y 1800 AC la información es todavía escasa. Un aumento en las determinaciones arqueomagnéticas correspondientes a estas etapas podría ayudar considerablemente a mejorar la curva maestra.

b) Los resultados obtenidos indican que es difícil tratar de establecer una tendencia en las variaciones de intensidad en la región mesoamericana utilizando las bases de datos y las predicciones de los modelos globales existentes, tal vez debido a la inequidad en la cantidad de información procedente de las diferentes regiones de la tierra y a las desiguales calidades de los datos.

De ahí la importancia de este trabajo y otros posteriores para llegar a conocer mejor las variaciones de dirección e intensidad del campo magnético de forma integral para la zona de estudio. Con estas motivaciones fue posible colaborar con 5 proyectos arqueológicos en sitios en investigación actual e integrar el arqueomagnetismo como técnica arqueométrica aplicada a contextos arqueológicos in situ y con evidencia de exposición al fuego. La investigación se desarrolló en las zonas de Occidente del país, hasta ahora sin estudios arqueomagnéticos disponibles y que presentan en su mayoría las siguientes características:

- Presentan o están en vías de obtener estimaciones de edades radiométricas;
- Los estudios de reconocimiento testifican un buen comportamiento magnético de los contextos que adquirieron magnetización de forma termorremanente, factor fundamental para lograr experimentos arqueomagnéticos exitosos, y
- Se cuenta con la colaboración estrecha de los arqueólogos responsables de proyecto lo que permitió un análisis e interpretación de resultados muy robustos.

El estado del arte del arqueomagnetismo es el estudio de contextos arqueológicos in situ y con magnetización termorremanente adquirida y su determine el vector completo de campo geomagnético, determinando arqueodirecciones e arqueointensidad con los parámetros de calidad más altos, y de ser posible correlacionados con dataciones de radiocarbono.

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo general desarrollar estudios arqueomagnéticos de la más alta calidad que deriven en una mejor caracterización del campo geomagnético antiguo y con las determinaciones obtenidas se estime una temporalidad para sitios arqueológico estudiados del Occident de México: La Quemada, Zacatecas, Lo de Juárez, Guanajuato, Manantlán, Jalisco, Cueva de la Huachizca, Michoacán y El Cerrito de los Agaves, Altos de Jalisco.

La estructura del escrito comprende el **Capítulo 1 “Fundamentos teóricos del campo geomagnético y metodología arqueomagnética”** que sustenta los elementos geofísicos y arqueométricos empleados en este trabajo. El **Capítulo 2 “Investigaciones Arqueomagnética en México”** presenta un recuento histórico de las investigaciones arqueomagnéticas realizadas en México, la distribución y temporalidades que se cubren y fundamentan los estudios actuales del arqueomagnetismo. Y a partir del tercer capítulo se presenta un compendio del trabajo publicado sobre la investigación de cada proyecto arqueológico y donde nuestros resultados de arqueomagnetismo impacta en el conocimiento de las dinámicas de la poblaciones prehispánicas que habitaron la región occidental de nuestro país. Para cada sitio se desarrolla el contexto histórico-arqueológico y se detalla el muestreo y resultados arqueomagnéticos. Como potenciales lectores de esta tesis podrían ser arqueólogos y antropólogos, por ello se introduce en Capítulo 1 el marco teórico y generalidades de geomagnetismo, paleomagnetismo y arqueomagnetismo de forma sencilla. Cada capítulo tiene los siguientes objetivos particulares según el sitio arqueológico estudiado:

Capítulo 3. De Chupícuaro al Despoblamiento de la Frontera Septentrional. Evidencia arqueomagnética desde el sitio Lo De Juárez (Guanajuato, México)

La cronología de los sitios arqueológicos de la región del Bajío cuenta con escasos datos por radiocarbono. En el salvamento arqueológico del sitio Lo de Juárez, Guanajuato fueron hallados un fogón y un horno que fueron analizados por arqueomagnetismo con el objetivo de aportar datos arqueométricos a la cronología de la región. Las muestras colectadas serán analizadas por magnetismo de rocas para determinar las características de los minerales portadores de magnetización.

Capítulo 4. La Quemada, Zacatecas

4.1 La Quemada: Caída y abandono en dos etapas del periodo Clásico en la frontera norte de Mesoamérica

La Quemada es el principal sitio de la frontera norte de Mesoamérica, constituido de varias estructuras, terrazas, plazas y salones acolumnados. Se maestreadon la Plaza de los Sacrificios y el Salón de las Columnas con el objetivo de determinar con precisión los intervalos de edad correspondientes al declive y abandono del sitio, debido a un probable incendio intencional como ritual de terminación. Así mismo, por experimentos de magnetismo de rocas, se definirán minerales magnéticos portadores.

4.2 Juego de Pelota en La Quemada, Zacatecas: Contribuciones cronológicas absolutas mediante el estudio arqueomagnético de fogones asociados

Dentro del complejo de La Quemada la presencia de un Juego de Pelota monumental da cuenta del ritual político y social característico de Mesoamérica. Dos fogones y una cavidad quemada hallados en el gran área del Juego de Pelota, fueron colectados con el objetivo de ubicar dicho recinto en un marco cronológico por arqueomagnetismo y estudiar los portadores de magnetización.

Capítulo 5. Estudio arqueomagnético del piso quemado en La Palma, Valle de Cuza-lapa, Sierra de Manantlán (Jalisco): Implicaciones arqueológicas y geomagnéticas.

Primeros trabajos de exploración arqueológica en La Sierra de Manantlán, Jalisco localizaron el sitio La Palma con evidencia arquitectónica bien conservada. Un piso quemado fue hallado y colectado con el objetivo de estudio por arqueomagnetismo para obtener una fecha arqueométrica que permita ubicar temporalmente la ocupación de este sitio y esbozar una primera interpretación de dinámicas culturales en su entorno regional.

Capítulo 6. Aportes a la cronología absoluta del sitio El Cerrito de Los Agaves en la parte Suroriental de los Altos de Jalisco.

Excavaciones recientes en la región Altos de Jalisco, región rica en petrograbados y asentamientos prehispánicos, permitieron el estudio del complejo de edificios denominado El Cerrito de Los Agaves. En este sitio fueron hallados varios pisos quemados que fueron estudiados con la técnica de arqueodirecciones y experimento de rocas para identificación de mineral portador, permitiendo obtener temporalidades que contribuyan a la cronología de la región.

Capítulo 7. Una interpretación de la Cueva de la Huachizca, Santa Clara del Cobre, Michoacán, México.

La exploración de la Cueva de la Huachizca, Michoacán registró arte rupestre y un artefacto cerámico con evidencias de exposición a altas temperaturas en el interior de la cueva. El objeto cerámico fue estudiado por arqueomagnetismo para obtener una estimación temporal de la adquisición de magnetización y contribuir a la cronología de actividad arqueológica en la cueva.

Referencias

- Korte, M., A. Genevey, C. G. Constable, U. Frank, and E. Schnepp (2014). Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia: A new global data compilation, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q02H15, doi:10.1029/2008GC000800, 2009.
- Pavón-Carrasco, F.J., (2014). A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data, *Earth Planet. Sci. Lett.* 388C: 98-109.
- Sternber, R. S. (2008). Archaeomagnetism in archaeometry - a semi centennial review. *Archaeometry*, 50, 98-998.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO Y METODOLOGÍA ARQUEOMAGNÉTICA

1.1 Origen y descripción del campo geomagnético

La Tierra posee un campo magnético que lo envuelve más allá de sus dimensiones hacia el medio interplanetario donde interactúa con el campo magnético del Sol. El campo geomagnético es una región del espacio donde la interacción magnética ocurre en torno a la Tierra. Un campo magnético se describe matemática y físicamente a partir de dos ángulos que determinan su dirección, declinación D e inclinación I , y su intensidad F o magnitud H , generando una variable vectorial que describa cada punto del campo (Merrill et al., 1983). Dicho campo varía en el tiempo y en el espacio, y lo estudiamos a partir de sus efectos sobre objetos magnetizados, con nuestros sentidos no podemos experimentar directamente ningún campo magnético.

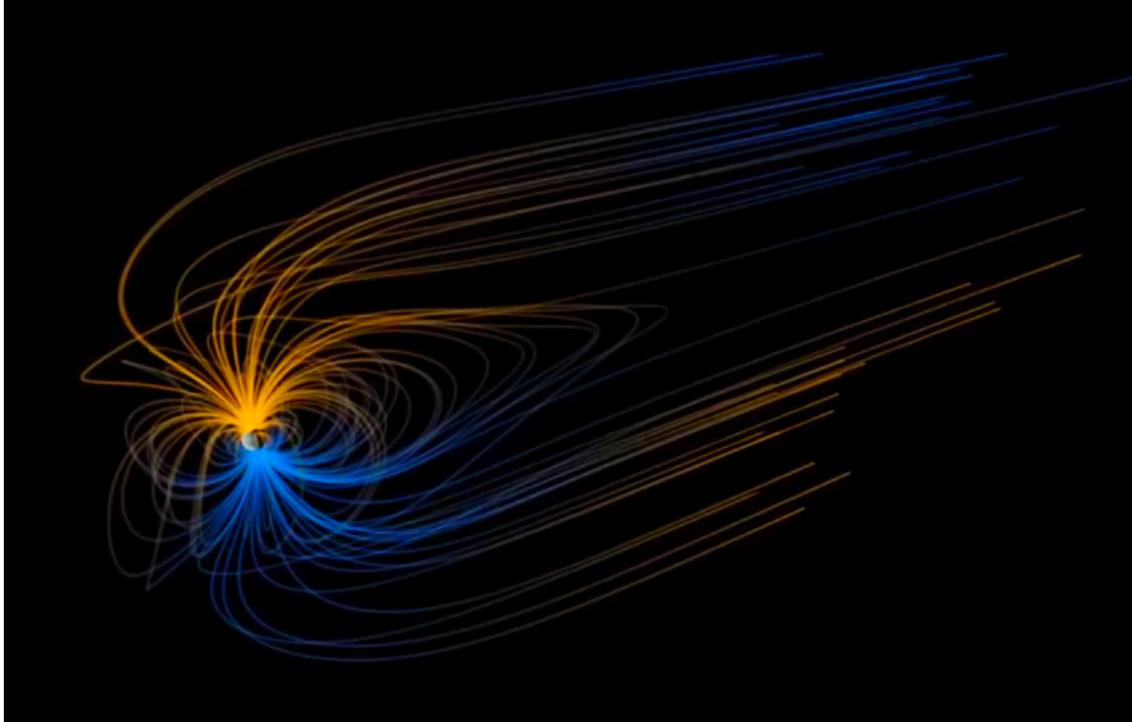
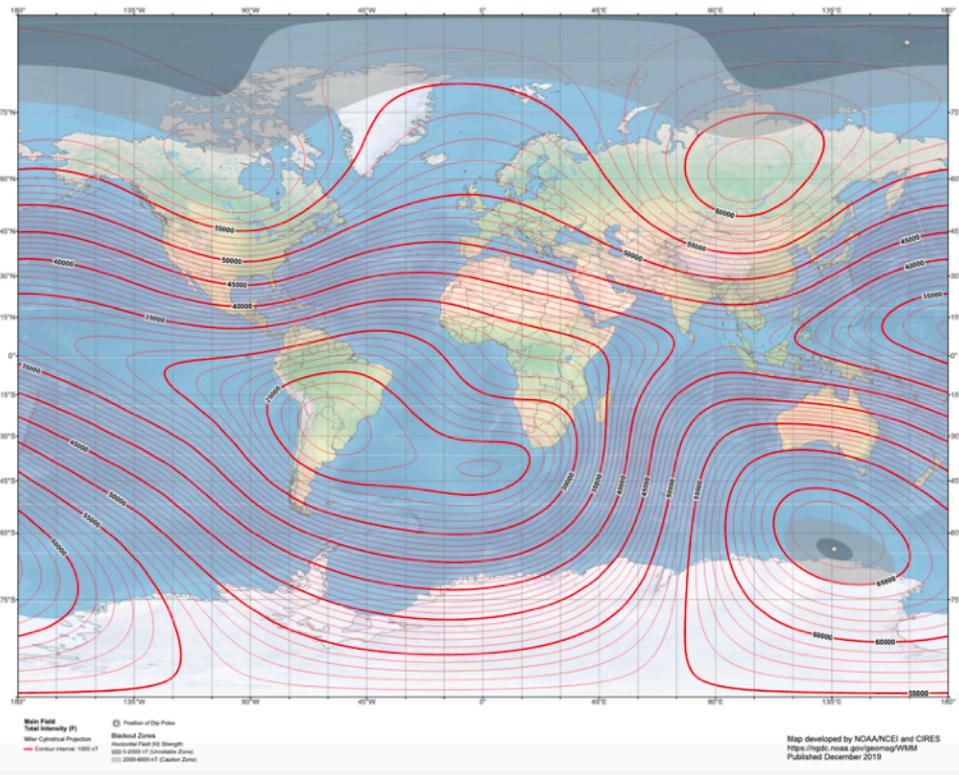


Figura 1.1. Modelo de geomagnetósfera, representación dipolar. Observe el tamaño del planeta respecto a su campo magnético (NASA/Goddard Space Flight Center, 2012).

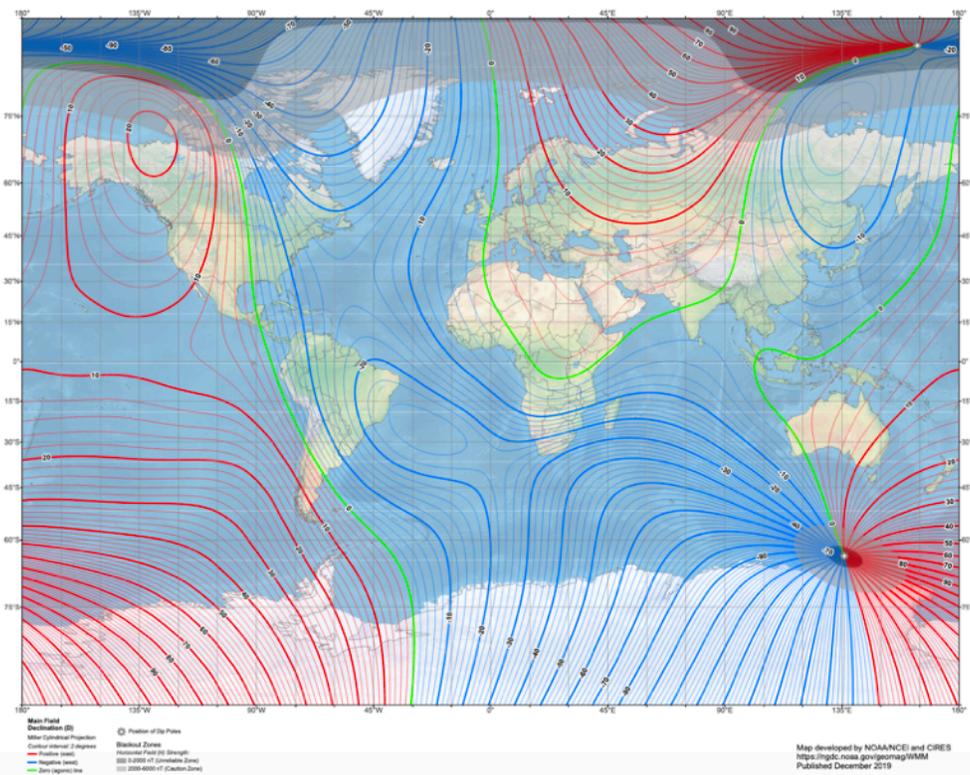
A)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0
Main Field Total Intensity (F)



B)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0
Main Field Declination (D)



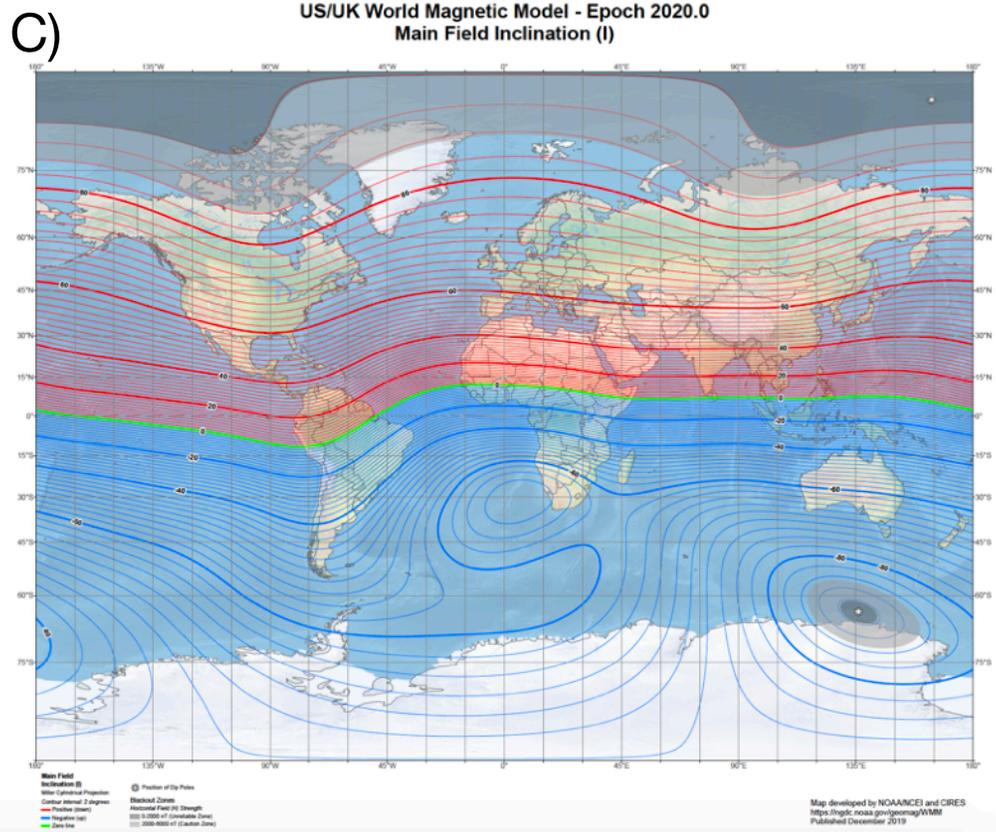


Figura 1.2. Modelo Magnético Global US/UK 2020. Cartas de la Intensidad Total del Campo principal (A), de Declinación (B) e Inclinación (C) geomagnéticas (NCEI GMT BGS, 2019).

La magnetósfera puede alcanzar distancias de 65 000 km a 90 000 km (Figura 1.1). En la superficie terrestre, a 6 370 km del centro de la Tierra, la intensidad geomagnética varía entre 25 μT a 65 μT en distintas áreas de la superficie, variación espacial que se modela en curvas para cada variable geomagnética como el Modelo Magnético Global (Chulliat et al., 2020) como se muestra en Figura 1.2 A, B y C.

La forma más sencilla de explicar el campo magnético de la Tierra (C.M.T.) es pensar la forma de un campo generado por un imán de barra (dipolo magnético) ubicado en el centro de la Tierra. Sin embargo hay que resaltar que debido a las altas temperaturas en el Núcleo Interno, ningún material puede conservar su magnetización en esas condiciones. Por miles de años la humanidad ha conocido del campo geomagnético a través de las auroras polares, la brújula y por rocas imantadas naturalmente. Sin embargo continua en investigación para tener una mejor comprensión de su dinámica, va-

riaciones y efectos, utilizando datos geomagnéticos actuales y del presente así como fuentes del pasado como las arqueomagnéticas.

Origen del campo geomagnético

El conocimiento del interior terrestre indica que el Núcleo Externo está compuesto de hierro y níquel en estado fluido y que se encuentra en movimiento convectivo debido al calor remanente del Núcleo Interno; esto implica que hay un transporte de electrones que, cual corriente eléctrica, induce un campo magnético en función del sentido principal de la corriente que lo genera. Este fenómeno electromagnético es tema de estudio actual de la magnetohidrodinámica, inferir el movimiento y comportamiento de los fluidos conductores de electricidad en presencia de campos magnéticos y eléctricos y los efectos producidos.

La característica dipolar del campo geomagnético se explica físicamente con el modelo de un dínamo de disco auto excitable (Elsasser, 1958) que se muestra en la Figura 1.3, en el que se genera un campo magnético a partir de una corriente eléctrica en un conductor en movimiento, análogamente, las corrientes eléctricas generadas por el movimiento convectivo en el núcleo externo de la Tierra inducen la componente dipolar del campo geomagnético presente.

Un disco de cobre gira sobre su propio eje en presencia de un pequeño campo magnético, entonces se induce una fuerza electromotriz según la velocidad de giro y del campo inicial. El disco está conectado en la orilla a un solenoide que se conecta por el otro lado al eje de rotación del disco que también es conductor. Entonces se forma un circuito eléctrico donde una corriente eléctrica i presente, que al fluir por el solenoide produce un campo magnético B paralelo al original, produciendo un incremento del campo magnético. Este campo magnético induce una f.e.m. mayor que continúa la rotación del disco y se repite el proceso.

El núcleo externo terrestre presenta níquel-hierro a altas temperaturas que se encuentran en movimiento debido a corrientes convectivas, de modo que se producen corrientes eléctricas, las cuales inducen campo magnético.

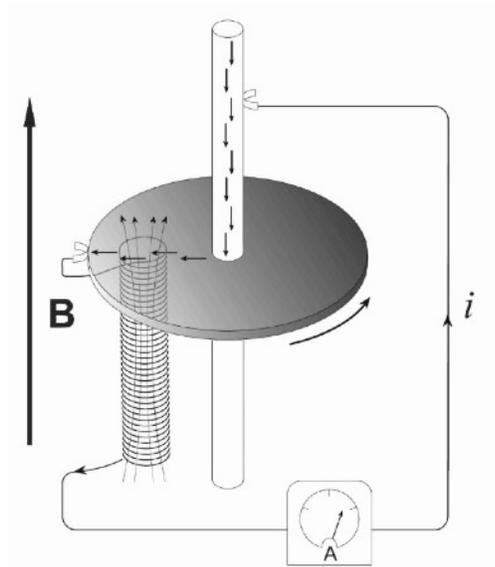


Figura 1.3 Modelo del dínamo auto excitado (Elsasser, 1958, modificado de Butler, 1992).

Un campo magnético B es inducido y reforzado por la acción del dínamo. El movimiento de electrones se produce al girar el disco de cobre ante la presencia de un pequeño campo magnético inicial, generando una f.e.m., la corriente eléctrica i se conduce a través del solenoide induciendo un campo magnético B paralelo al inicial produciendo un incremento magnético, se transmite i al eje de rotación del disco logrando un circuito cerrado, y se produce una f.e.m. mayor al incrementarse B , repitiéndose el proceso.

En la historia de la Tierra se han registrado épocas con polaridad distinta del campo geomagnético, es decir que el campo magnético se invierte. Una propuesta para comprender este fenómeno fue agregar dos discos conductores que giren, en el modelo anterior, de modo que se obtienen dos campos magnéticos que interactúan entre sí generando un comportamiento en el que se presenten cambios de polaridad incluso cuando el movimiento mecánico de discos se mantenga constante.

Glatzmaier y Roberts (1995) desarrollaron la matemática para presentar un modelo tridimensional de las inversiones del campo geomagnético (Figura 1.4).

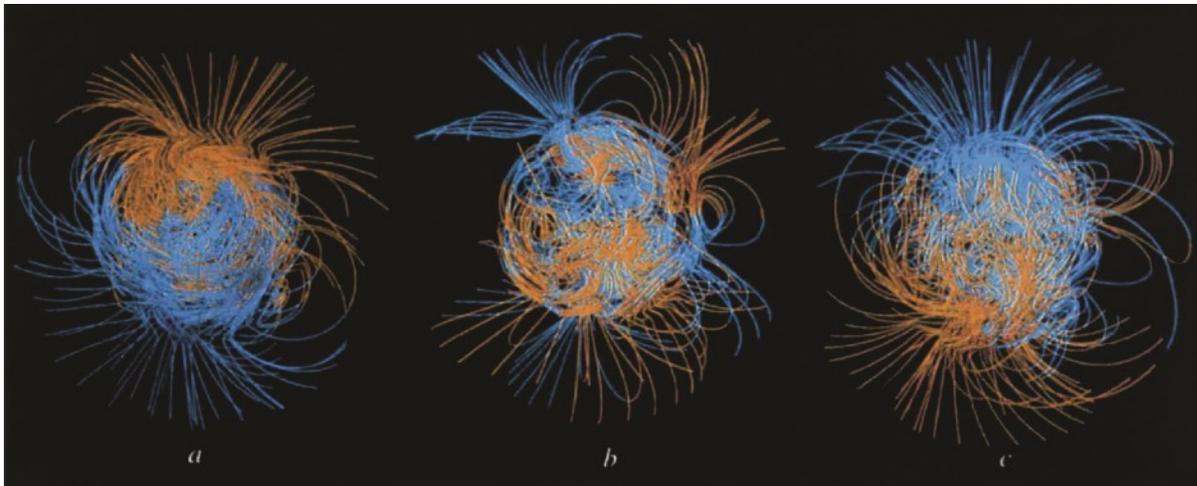


Figura 1.4 Modelo 3D de inversión magnética (Glatzmaier y Roberts, 1995). Estructura tridimensional (3D) del campo magnético que retrata las líneas de fuerza modeladas fuera de la superficie de la Tierra, se considera el eje de rotación en la vertical. Las líneas amarillas muestran la componente radial del campo con dirección hacia afuera, las líneas en azul corresponden a la dirección hacia adentro. En cada imagen se presentan 100 líneas de fuerza por lo que la intensidad relativa del campo geomagnético no se representa en esta figura. En a) el campo geomagnético antes de una inversión (9 000 años antes del presente); en b) se observa la mitad del camino hacia la transición, 4 000 años antes donde la parte dipolar del campo disminuye hasta cero; y en c) se presenta el campo geomagnético después de la inversión.

Modelos del campo geomagnético

La primera aproximación para C.M.T. actual, es la del modelo geocéntrico axial y dipolar, un campo que se comporta como si hubiese un dipolo en el centro del planeta a partir de las ideas de Gilbert (1600), Figura 1.5. La generación del CMT no es por la existencia de un gran imán en el interior terrestre, pues la temperatura que alcanza el núcleo supera la temperatura de Curie de cualquier por corrientes convectivas en el núcleo externo de La Tierra, donde mezclas de hierro y níquel en estado líquido al moverse, inducen el campo magnético por el flujo de electrones.

El modelo del CMT considera un campo dipolar, geocéntrico y axial, es decir, producto de un dipolo (m) en el centro terrestre con eje alineado al eje de rotación del planeta. En la Figura 1.02, se observa el dipolo al centro de la Tierra, la orientación de

las líneas del campo magnético (H) y para un punto en la superficie la latitud e inclinación correspondientes.

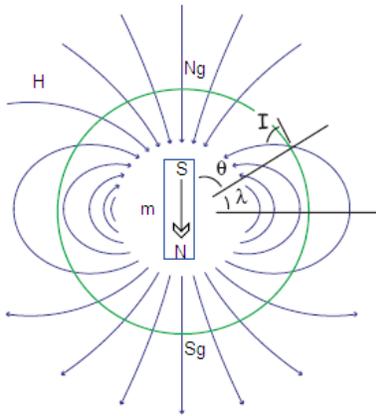


Figura 1.5 Modelo del dipolo geocéntrico y axial (modificado de Tauxe, 2010). La orientación de líneas del campo magnético H producido por el dipolo m , va del norte magnético N al sur magnético S , es decir de sur geográfico Sg a norte geográfico Ng . Para un punto en la superficie λ es la latitud e I inclinación; θ es el ángulo complementario de λ , llamado colatitud.

Para todo punto en la superficie terrestre la latitud geomagnética es igual a la geográfica. Si m es el momento magnético del dipolo y r_e es el radio medio terrestre, H_h la componente horizontal y H_v la componente vertical del campo a la latitud λ , entonces:

$$H_h = \frac{m \cos \lambda}{r_e^3}, \quad H_v = \frac{2m \sin \lambda}{r_e^3} \quad \text{Ec. (1.1), (1.2)}$$

y el campo total H es:

$$H = \left(H_h^2 + H_v^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{M}{r_e^3} (1 + 3 \sin^2 \lambda)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

y como la tangente de la inclinación magnética I es $\frac{H_v}{H}$ entonces obtenemos la ecuación del dipolo:

$$\tan I = 2 \tan \lambda \quad \text{Ec. (1.4)}$$

El siguiente nivel de aproximación considera que el eje magnético forma un ángulo de 11.5° con el eje de rotación terrestre, Figura 1.6. Su morfología actual se representa a través de cartas isomagnéticas que muestran curvas de igual valor de una componente particular del CMT (D, I, F).

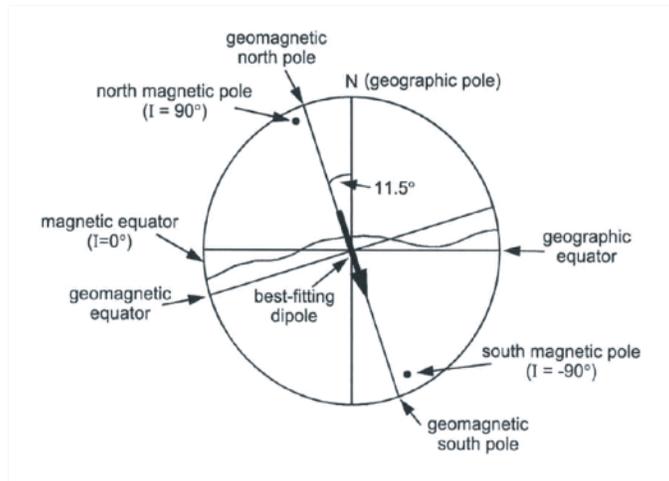


Figura 1.6 Modelo de dipolo terrestre axial no dipolar (Butler, 1992). Se observa el “ecuador magnético” y la declinación con respecto al eje de rotación de la Tierra.

Componentes vectoriales del CMT

Las componentes del vector magnético H se definen por la Declinación D , la inclinación I y la intensidad o magnitud del vector, Figura 1.7; D es el ángulo que forma la componente horizontal del vector (H_h) con el norte geográfico o azimut, I es el ángulo que forma el vector H con el plano horizontal (se encuentra entre -90° y 90°); la magnitud del vector H es la intensidad, medida en Teslas T ($1\text{ T}=1\text{ kg/s}\cdot\text{C}$).

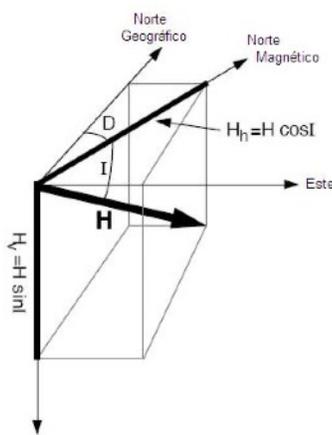


Figura 1.7. Esquema de ángulos que definen el CMT en un punto superficial. (Modif. de Butler, 1992).

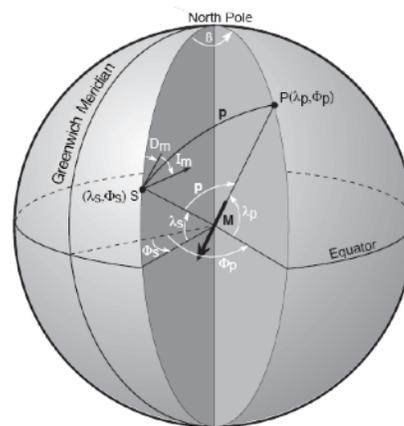


Fig. 1.8. Cálculo de posición (λ_p, ψ_p) del polo paleomagnético P, relativo a sitio de muestreo (λ_s, ψ_s) y dirección media (D_m, I_m) (Butler, 1992).

Para estudiar dos puntos muy separados en la superficie terrestre utilizamos un punto de referencia entre ellos, el polo paleomagnético (P) representa la posición donde el eje dipolar promedio en el tiempo cortaría la superficie, como se observa en la Figura 1.8. Toda paleodirección instantánea convertida a polo se le llama polo virtual geomagnético (PVG) y el promedio de varios PVG es P. Para el desarrollo matemático empleamos coordenadas esféricas por simplicidad.

El modelo del campo magnético terrestre satisface las ecuaciones de Maxwell:

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} , \quad \nabla \cdot B = 0 \quad \text{Ec. (1.5), (1.6)}$$

donde H es el campo magnético, B la inducción magnética, J la densidad de corriente eléctrica, D es el vector de desplazamiento de la densidad de corriente y t es el tiempo. Considerando la región de la superficie terrestre de altitud mayor a 50 km como vacío

electromagnético, se puede asumir que $J = 0$ y $\frac{\partial D}{\partial t} = 0$, lo que implica que H es un campo conservativo y, por tanto, existe un campo potencial escalar ψ tal que:

$$H = -\nabla\psi \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Por otro lado, B y H cumplen la Ec. (1.8), sobre la superficie terrestre donde la permeabilidad del vacío es $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, lo que implica la Ec. (1.9); por tanto ψ satisface la ecuación de Laplace (Ec. (1.10)). A través de un tratamiento matemático con polinomios de Legendre, funciones asociadas a la fórmula de Rodrigues y polinomios de Schmidt se determina el campo potencial escalar ψ , con el cual se aproxima el modelo dipolar del CMT.

$$B = \mu_0 H , \quad \nabla \cdot H = 0 , \quad \nabla^2 \psi = 0 \quad \text{Ec. (1.8), (1.9), (1.10)}$$

Campo geomagnético de referencia

Debido a la naturaleza del CMT no es posible tener un modelo fijo que se ajuste a sus variaciones, en principio los vectores magnéticos se pueden derivar del potencial magnético ψ (Ec. 1.7) pero para el campo geomagnético hay muchos coeficientes asociados y no sólo un escalar, la Ec. 1.11 muestra el potencial completo para el campo geomagnético despreciando pequeña fuentes externas.

$$\psi_m(r, \theta, \phi) = \frac{a}{\mu_0} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{a}{r}\right)^{l+1} P_l^m(\cos \theta) (g_l^m \cos m\phi + h_l^m \sin m\phi), \quad \text{Ec. (1.11)}$$

Una solución al potencial completo es aproximarse con polinomios de Schmidt (Ec. 1.12) y de Legendre obteniendo funciones que mejor ajusten al CMT (Fig. 1.9), aproximando a un campo debido a n fuentes, como en la Figura 1.10 se observa el campo para fuente dipolar, cuadripolar u octupolar.

$$P_1^0 = \cos \theta, P_2^0 = \frac{1}{2}(3 \cos^2 \theta - 1), \text{ and } P_3^0 = \frac{1}{2} \cos \theta(5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta), \quad \text{Ec. (1.12)}$$

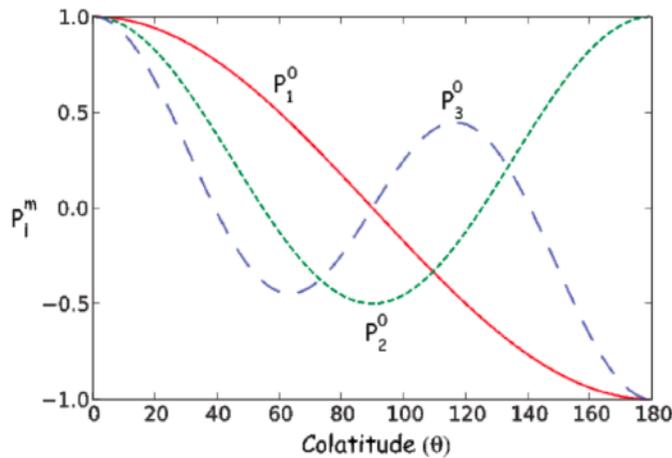


Fig. 1.9 Polinomios de Schmidt para diferentes fuentes en función de la colatitud (Tauxe, 2010).

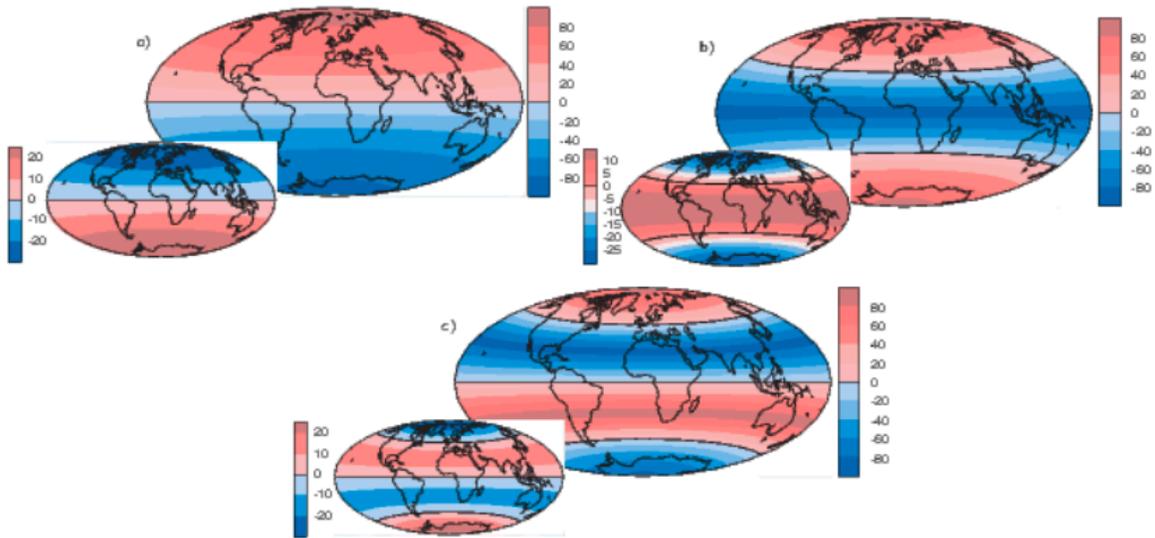


Fig. 1.10 Campos potenciales y mapas de inclinación global para campos de 30uT (Tauxe, 2010).
 a) Fuente dipolar, b) Cuadrupolo y c) Octupolo.

La solución general para las componentes del campo inducido expresado en Teslas de acuerdo al grado del polinomio con el cual se modele, es:

$$B_N = -\frac{\mu_0}{r} \frac{\partial \psi_m}{\partial \theta}, B_E = -\frac{\mu_0}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi_m}{\partial \phi}, B_V = -\frac{\mu_0 \partial \psi_m}{\partial r}. \quad \text{Ec. (1.13)}$$

donde r es el radio, θ es la colatitud (grados desde el polo Norte) y ϕ la longitud.

Actualmente, con datos paleomagnéticos y arqueomagnéticos de volcanes, rocas, contextos arqueológicos y sedimentos lacustres, se elaboran modelos globales de direcciones e intensidad geomagnéticas en el pasado.

Variaciones del campo geomagnético

Variaciones espaciales. En el modelo del C.M.T. como un dipolo geocéntrico y axial (Geocentric Axial Dipole GAD) , el campo magnético es producido por un dipolo magnético simple en el centro de la Tierra y que está alineado con el eje de rotación de la misma. Al realizar la descripción matemática de las variables magnéticas se observa una relación entre a Inclinación y la latitud. La composición de la corteza terrestre presenta anomalías magnéticas de cuerpos geológicos debajo de la superficie que en superposición con el CMT generan una lectura particular en magnetómetros de campo.

Variaciones temporales. Desde la primeras mediciones históricas de el momento en que fue posible medir periódicamente alguna de las componentes del c.m.t. en un mismo punto de observación. A continuación se muestran las principales variaciones temporales del campo geomagnético, duración y probable explicación:

TIPO DE VARIACIÓN	DURACIÓN (s)	POSIBLE EXPLICACIÓN
Muy cortas Micropulsaciones Variaciones subacústicas	3.0 E-1 a 3.0 E+1	Asociadas al campo externo
Tormentas magnéticas Variación diurna	1.0 E+2	Asociadas al campo externo
Variación secular	3.0 E+9 a 3.0 E+10	Campo no dipolar
Variación en el momento dipolar geomagnético	3.0 E+9 a 3.0 E+10	Campo dipolar
Excursiones	1.0 E+14	Inversiones abortadas
Variaciones en Intensidad	3.0 E+11	Campo dipolar
Paleovariación secular	3.0 E+12	Campo no dipolar y variaciones en el dipolo
Cambios de polaridad	3.0 E+14	Campo dipolar y no dipolar interno

Tabla 1. Variaciones del C.M.T. (modificado de Soler-Arechalde, 2006).

La variación secular se manifiestan lenta y progresivamente a través de los años, con escalas de tiempo del orden de décadas o milenios. Se presenta en todas las componentes del campo y para la observación de la misma es necesario que se hayan eliminado previamente las variaciones diarias y los disturbios magnéticos.

Los patrones de variación secular son similares a lo largo de regiones subcontinentales, sin embargo de un continente a otro, los patrones llegan a ser muy distintos (Butler,1992:10). Lo anterior sugiere la idea de que la variación secular del campo geomagnético se deba predominantemente a variaciones del campo no dipolar.

Según Rikitake (1967), la variación secular es la suma de las siguientes causas:

- i) La disminución del campo dipolar
- ii) El desplazamiento hacia el Oeste del campo no dipolar
- iii) El aparente desplazamiento hacia el Norte del campo dipolar axial
- iv) Una variación en la intensidad de los campos estáticos.

Las fuentes de información magnética del pasado pueden registrar la variación secular.

1.2 Magnetización de materiales

El magnetismo se origina físicamente por la existencia de dipolos magnéticos atómicos en la materia y es el resultado del movimiento de los electrones en las órbitas atómicas, equivalentes espira de “espín” electrónicos que induce un campo magnético a su alrededor.

El efecto de un campo magnético sobre un material susceptible a él, es la alineación de los dipolos magnéticos de dicho material conforme a la dirección del campo aplicado. Se caracteriza el grado de alineación como el momento magnético total por unidad de volumen del material, siendo la suma vectorial de los momentos individuales denominada Magnetización M , medida en A/m . En la Figura 1.11 se observan su diagrama y descripción física.

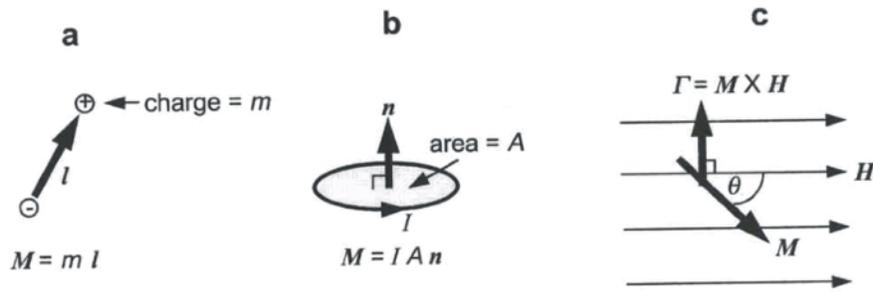


Fig. 1.11 a) Magnetización de un dipolo M , b) Magnetización inducida por el flujo de corriente eléctrica, y c) Fuerza magnética derivada del alineamiento del vector Magnetización con un campo magnético aplicado H (Tauxe, 2010).

Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad magnética χ_m , es la capacidad con que se magnetiza un material en la presencia de un campo magnético (B). En numerosas sustancias, la magnetización es proporcional a la intensidad del campo magnético H , por lo que se puede definir a χ_m como:

$$M = \chi_m H = \chi_m (B/\mu_0) \quad \text{Ec. (1.14)}$$

donde χ_m es una cantidad adimensional puesto que M y H tienen las mismas unidades [A/m], B es el campo magnético inducido y μ_0 la permeabilidad magnética en el vacío [4 π X 10⁻⁷ He/m]. La permeabilidad es la facilidad que ofrece un cuerpo al paso del flujo magnético. La representación matemática de la susceptibilidad magnética es un tensor de segundo grado χ_{ij} , que al ser diagonalizado, los eigenvalores y eigenvectores proporcionan las magnitudes y direcciones de las susceptibilidades principales χ_1, χ_2, χ_3 .

De acuerdo a su comportamiento frente a un campo magnético, los materiales pueden clasificarse según su susceptibilidad magnética como se observa y describe en la siguiente Tabla 2:

TIPO DE MATERIAL	SUSCEPTIBILIDAD	PERMEABILIDAD
Paramagnético	$0 < \chi_m \ll 1$	$\mu > \mu_0$
Diamagnético	$\chi_m < 0$ y $\chi_m \ll 1$	$\mu < \mu_0$
Ferromagnético	$\chi_m > 0$ y $\chi_m \rightarrow \infty$	$\mu \gg \mu_0$

Tabla 2. Tipo de material y su susceptibilidad (Butler, 1992)

Paramagnetismo: Los materiales presentan una susceptibilidad magnética positiva pero pequeña que disminuye con la temperatura y proviene de la existencia de dipolos magnéticos permanentes que son capaces de orientarse bajo la influencia de un campo externo. A temperatura ambiente las vibraciones térmicas en el sólido aseguran una orientación al azar de los dipolos, con lo que la magnetización media es cero, pero cuanto mayor sea el campo magnético aplicado mayor será el momento magnético neto por unidad de volumen.

Diamagnetismo: Los momentos magnéticos negativos inducidos en todas las sustancias por aplicación de un campo magnético externo, se caracteriza por susceptibilidad negativa e independiente de la temperatura. El momento diamagnético inducido es el mismo cualquiera que sea la orientación de la órbita con respecto al campo por lo que las vibraciones térmicas no afectan a las susceptibilidades diamagnéticas.

Ferromagnetismo: Efecto magnético de ciertos compuestos del hierro que se caracteriza por susceptibilidad positiva y grande. El valor de la susceptibilidad depende no solo del campo aplicado, sino también de la historia previa de la muestra. En muchos casos, una muestra puede retener su magnetización aún en ausencia de un campo externo, debido a que la sustancia presenta una gran tendencia a desdoblarse en dominios con una dirección de magnetización distinta, por lo que macroscópicamente resulta una magnetización cero. El origen de los momentos magnéticos en las sustancias ferromagnéticas resulta ser de los momentos magnéticos asociados al espín de los electrones. En las sustancias ferromagnéticas existen interacciones tan fuertes entre espines que les hacen alinearse paralelamente unos a otros como los imanes permanentes.

Antiferromagnetismo: Con susceptibilidad magnética relativamente baja a temperaturas por debajo del punto de Curie y que incrementa con la temperatura acercándose a la Temperatura de Curie característica del material. Pertenecen entre otros la hematita (Fe_2O_3), los óxidos de manganeso, de hierro, cobalto y níquel.

Ferrimagnetismo: Materiales que tienen dos subredes de iones metálicos con momentos magnéticos orientados antiparalelamente, pero de magnitud diferente dando lugar a un momento resultante diferente de cero, incluso en ausencia de un campo externo. La

magnetita (Fe_3O_4), es un material ferrimagnético y el mineral más importante en contribuir al magnetismo de rocas.

Temperatura de Curie

La interacción entre temperatura y magnetismo se refleja en la pérdida de susceptibilidad magnética conforme se eleva la temperatura, a partir de una temperatura para el cual un material deja de ser magnetizable pasando de una condición ferromagnética a una paramagnética, dicha temperatura se conoce como Temperatura de Curie (T_C) y es propia de cada material.

Tras pasar la T_C no hay magnetización en el material debido al desorden de los momentos magnéticos internos. Si disminuye la temperatura del material ferromagnético en presencia de un campo magnético, durante el enfriamiento los momentos magnéticos se orientarán conforme al campo presente, hasta adquirir una Magnetización paralela a la dirección magnética del campo aplicado. Esta forma de adquisición se nombra Termorremanente y es la forma en que adquieren magnetización los contextos arqueológicos estudiados en este trabajo. Para la mayoría de los minerales ferromagnéticos la T_C se aproxima hacia e los 600 °C y depende de las características mineralógica el valor específico de T_C .

Ciclo de histéresis

Los materiales ferromagnéticos que fueron expuesto a un campo magnético externo mantienen un magnetismo residual aún en ausencia de la fuente magnética. Al analizar el comportamiento de la magnetización M ante la presencia de un campo magnético H se obtiene una curva del comportamiento que no presenta reversibilidad entre la forma de adquisición y la remanencia. Con el ciclo de histéresis (Fig. 1.12) se caracteriza la respuesta de los minerales ferromagnéticos presentes en muestras arqueomagnéticas. La histéresis en algunos materiales llega a ser muy grande y esto permite la existencia de imanes permanentes de muy alta remanencia.

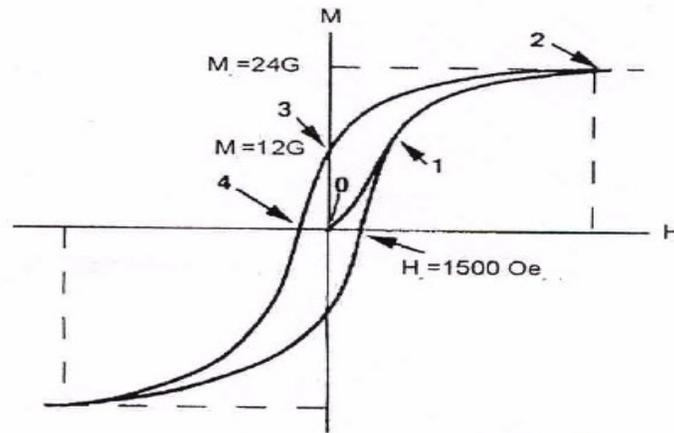


Fig. 1.12 Curva del ciclo de histéresis para minerales ferromagnéticos (modificado de Butler, 1992). En el punto 0 inicia la aplicación de campo magnético H observando un comportamiento creciente para la magnetización M , a partir del punto 1 crece asintóticamente hasta llegar a un máximo de saturación en el punto 2. A partir del punto 2 disminuye la intensidad del campo aplicado H hasta llegar a cero pero M no vuelve a cero como se observa en 3, siendo la magnetización remanente M_r . Aplicando un campo H de dirección contraria se obtiene llegar a $M=0$ en el punto 4. El valor de M aumenta hasta obtener la saturación negativa de M , que vuelve a incrementar y llegar a cero tras la continua exposición a H .

Dominios magnéticos

El material ferromagnético está constituido por dominios o zonas locales dentro de los cuales existe un perfecto ordenamiento de los momentos magnéticos atómicos, es decir, que es la región del cristal en la cual la magnetización es uniforme y equivalente a la magnetización de saturación (M_s). El primer modelo del dominio fue propuesto por Landau y Lifschitz, y explica cómo se equilibra la fuerza magnetostática en un cristal.

Existen tres tipos de dominios según Dunlop (1995):

- i) *Dominio sencillo* (single domain) (DS): contiene un solo dominio, los cambios en la magnetización ocurren por la rotación simultánea de los espines atómicos.
- ii) *Dominio pseudo-sencillo* (pseudo-single domain) (DPS): se caracteriza por una magnetización que no es uniforme ya que ocurre en granos más grandes que los

del sencillo; presenta comportamientos del dominio sencillo como alta remanencia de saturación (M_{rs}) y alta fuerza de coercitividad (H_c).

- iii) *Dominio múltiple* (multidomain) (MD): contiene más de un dominio, los cambios de magnetización ocurren por el movimiento de las paredes o por la formación/deformación de dominios.

Las zonas de transición o de discontinuidad entre dominios magnéticos vecinos se denominan paredes de Bloch. A través de dichas paredes la dirección de los espines de los electrones no apareados cambia continuamente como lo muestra la Fig.1.13 :

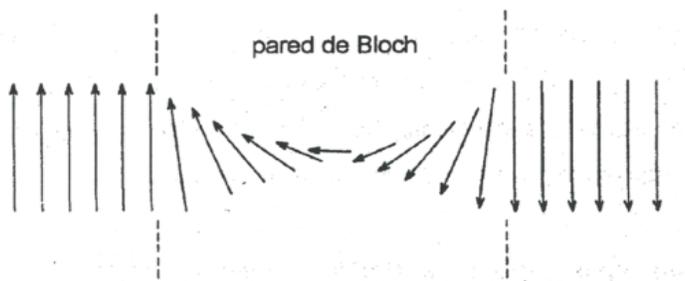


Fig. 1.13 Comportamiento de los momentos magnéticos en la transición de un dominio a otro a través de la pared de Bloch (Tartling, 1983.)

Minerales magnéticos

En las rocas ígneas extrusivas e intrusivas los minerales ferromagnéticos tienden a alinearse con la dirección del flujo tras el enfriamiento que les da origen. Se estima una proporción del 1 a 10% de minerales ferrimagnéticos volumétricamente. Por termo-remanencia los minerales magnéticos portadores de la magnetización son principalmente: óxidos de hierro y titanio, óxidos y oxihidróxidos de hierro-manganeso, sulfuros de hierro y aleaciones de hierro y cobalto-níquel. Siendo los minerales magnéticos más comunes los mostrados en Tabla 3. Minerales ferromagnéticos:

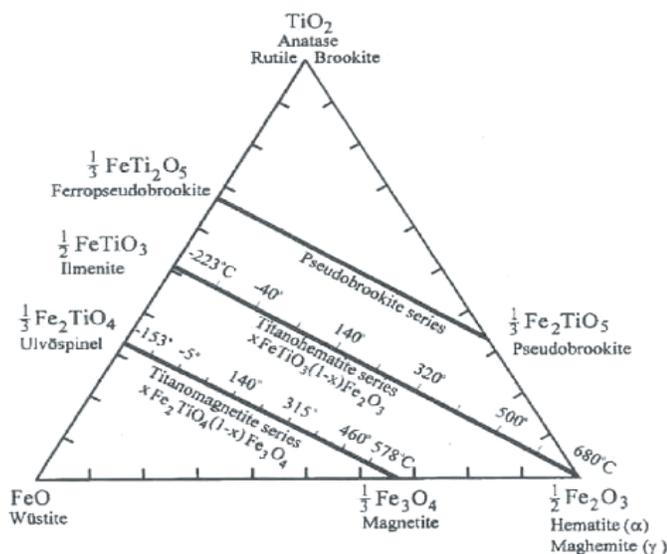
MINERAL	COMPOSICIÓN	TIPO DE MAGNETIZACIÓN
Magnetita	Fe_3O_4	Ferrimagnética
Ulvospinela	Fe_2TiO_4	Antiferromagnética
Hematita	Fe_2O_3 (hexagonal)	Antiferromagnética con ferromagnetismo débil
Ilmenita	$FeTiO_3$	Antiferromagnético
Maghemita	Fe_2O_3 (cúbica)	Ferrimagnética
Hierro	Fe	Ferromagnética

Tabla 3. Minerales ferromagnéticos (Modif. Butler, 1992)

Las series mineralógicas y su diagrama ternario, Figura 1.14, son caracterizadas:

- *Serie titano-maghemitas* (Fe_3O_4 - Fe_2TiO_4 - Fe_2TiO_5 - Fe_2O_3) : corresponde a las titano-magnetitas oxidadas a bajas temperaturas y son deficientes en hierro. La magnetita y el ulvospinelo, ambos de estructura cristalina cúbica, constituyen las fases extremas de esta serie. A temperaturas superiores a los 600°C la serie se presenta como una solución sólida única; a temperaturas inferiores, las dos fases tienden a separarse. Durante el calentamiento, se transforma en titano-hematita, pasando de una estructura cúbica ferrimagnética a una rombohédrica antiferromagnética. Este cambio ocurre entre los 300 y 400°C .
- *Serie hematita-ilmenita* (Fe_2O_3 - FeTiO_3) : tienen estructura rombohédrica y según la composición sus propiedades son variables. Para ciertas composiciones tenemos un acoplamiento negativo entre los iones de Fe^{3+} , por lo que la serie tiene propiedades antiferromagnéticas. La T_C de la hematita varía entre 675 y 685°C ; la de la ilmenita es del orden de -200°C . Los minerales de la serie hematita-ilmenita son los principales responsables de la magnetización remanente de las metamorfitas (Balsey y Buddington, 1954 y 1958).
- *Serie magnetita-ulvoespinela* (Fe_3O_4 - Fe_2TiO_4) : son titano-magnetitas con estructura de espinela invertida y son muy comunes para las rocas de origen volcánico. La T_C de las titano-magnetitas disminuye linealmente según la composición química, desde $\approx 575^\circ\text{C}$ para la magnetita hasta -153°C para el ulvoespinela el cual a temperatura ambiente es antiferromagnético.

Fig. 1.14 Diagrama ternario de las series de óxidos de hierro y titanio,. Principales minerales presentes en muestras arqueomagnéticas de México (Tauxe, 2010).



1.3 Metodología arqueomagnética

A partir de la descripción vectorial del campo geomagnético que implica dos ángulos, Declinación e Inclinación (D, I) y la magnitud o Intensidad (H) los métodos experimentales son distintos para obtener estas variables para materiales arqueológicos.

1.3.1 Arqueodirecciones

En campo e in situ debe registrarse la orientación de la estructura a estudiar con brújula Brunton o solar. Dependiendo del contexto arqueológico se retira un fragmento o bloque para llevar a laboratorio. Las muestras permanecen en blindaje magnético por 2 semanas para eliminar la magnetización viscosa.

A las muestras arqueomagnéticas se mide el vector de Magnetización Remanente Natural (NRM) con un magnetómetro, en este trabajo se utilizó un magnetómetro de giro JR6 de Agico que detecta, a través de su bobina sensible, la corriente electromagnética inducida por la variación del vector de magnetización interno de la muestra.

Empleando un desmagnetizador de campos magnéticos alternos se aplican campos de diferente magnitud y en sentido contrario al de la muestra, obteniendo una reducción del vector magnetización hasta obtener una constante direccional que representa la Magnetización Característica Principal y los minerales magnético presentan una sola dirección, observe la figura 1.15.

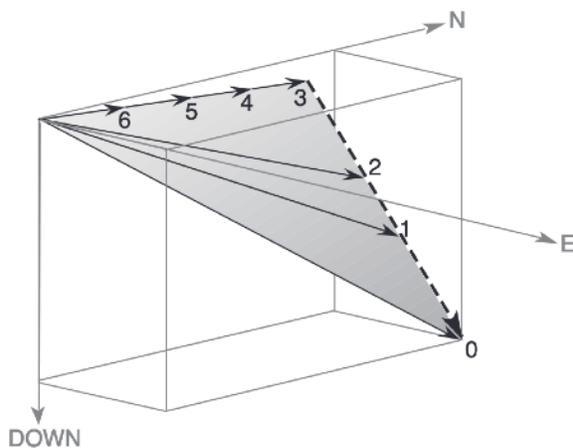


Fig. 1.15 Técnica de lavados magnéticos para obtener la dirección principal característica de la magnetización de una muestra. El vector 0 corresponde a la NRM, los vectores 1 a 3 son diferentes direcciones de magnetización. Del 3 al 6 se mantiene la misma dirección y la Declinación e Inclinación representarán la dirección característica. (Butler, 1992).

Los pasos de desmagnetización se registra en un diagrama vectorial o diagrama de Zijderveld (1967) donde se observa la orientación de la arqueodirección que tiene al origen, Figura 1.16.

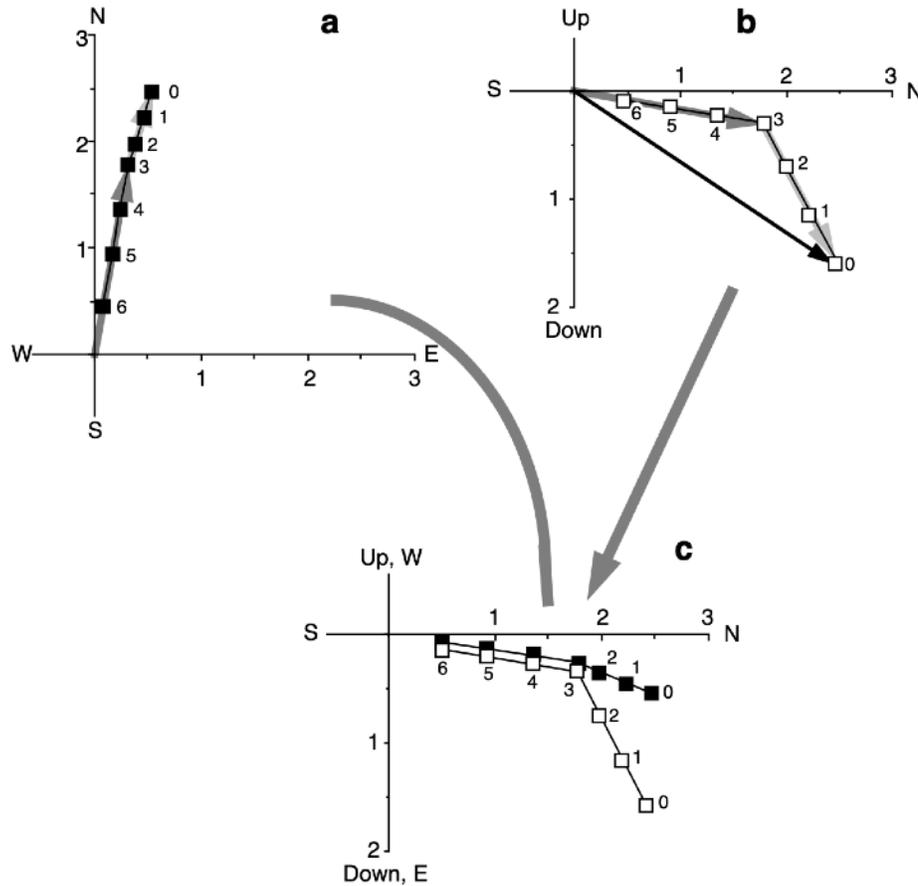


Fig. 1.16 Diagrama de Zijderveld construido con la dirección de magnetización sometida a lavados magnéticos y la orientación de la arqueodirección que tiene al origen. En a) el plano NE, en b) el plano NUp y en c) la integración de los dos planos en un sólo gráfico con distintos ejes (Butler, 1992).

Las orientaciones del vector magnetización se grafican en una red estereográfica observando tendencia a la dirección característica y se grafica la disminución densidad de corriente por unidad respecto al campo magnético aplicado en cada etapa, observe la figura 1.17.

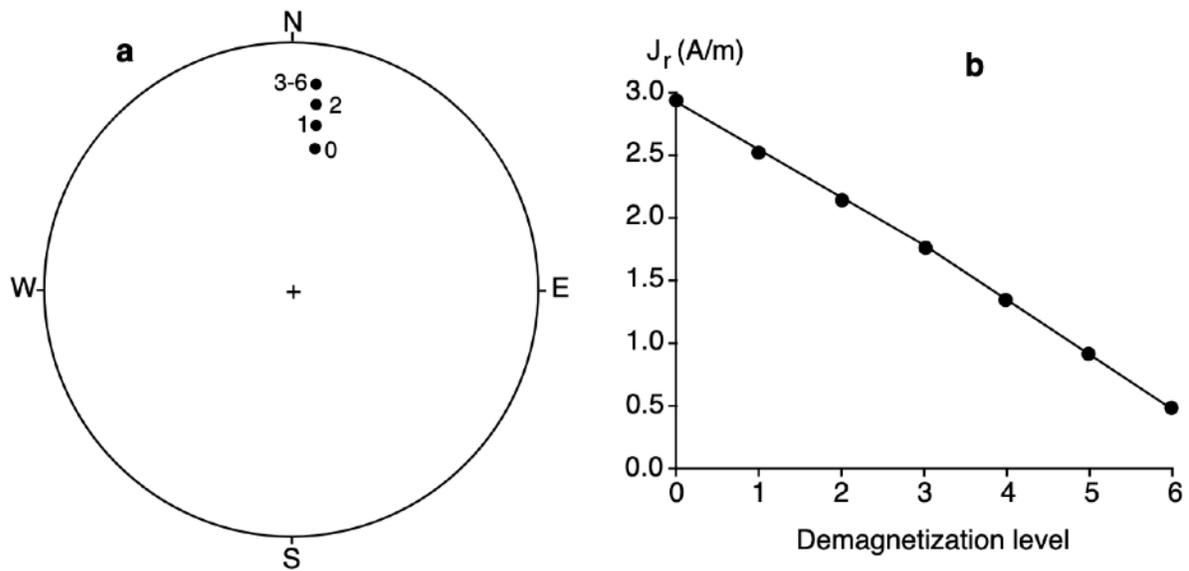


Fig. 1.17 a) Direcciones del proceso de desmagnetización en una estero red, en este caso los puntos 3 a 6 convergen en la Dirección magnética principal de la muestra. b) Gráfica de disminución de magnetización según las etapas de desmagnetización. El comportamiento de esta curva indica naturaleza mineralógica del portador magnético. Butler, 1992.

La dirección característica puede ser un vector bien definido cuando se tiene una única dirección en la muestra, pero al presentarse dos o más direcciones se presentará en el diagrama vectorial el traslape de direcciones, mientras que en la red estenográfica se observará convergencia de círculos mayores y se utiliza el método de Componentes principales Kirschvink (1980) para obtener el mejor ajuste por planos con una desviación angular máxima (MAD por su acrónimo en inglés).

Al la dirección característica obtenida se realizan correcciones sistemáticas: geográfica y de rumbo y echado, obteniendo la arqueodirección en términos de (D, I) y como factor de calidad se expresa un $\alpha_{95} < 5^\circ$ que representa el 95% de confianza de que se encuentre la dirección característica a menos de 5° según la estadística Fisher (1953).

Para un estudio integral son muestra candidatas a experimentos de arqueointensidad aquellas que tienen una dirección arqueomagnética bien definida.

1.3.2 Arqueointensidad

El principio de la determinación de la intensidad de campos magnéticos antiguos H_{paleo} está basado en suponer que el proceso de adquisición de magnetización de las rocas M , que se aproxima con una relación lineal al campo ambiente para campos bajos como el terrestre.

$$M_{NRM} = \nu_{paleo} H_{paleo} \quad \text{Ec.1.15}$$

Donde M_{NRM} es la magnetización natural remanente, H_{paleo} el campo magnético antiguo que generó dicha magnetización y ν_{paleo} una constante de proporcionalidad que relaciona linealmente la magnetización con el campo.

En laboratorio se puede reproducir este proceso, obteniendo una magnetización remanente M_{lab} generada por un campo magnético aplicado H_{lab} y relacionados por una constante de proporcionalidad del proceso de laboratorio ν_{lab} .

$$M_{lab} = \nu_{lab} H_{lab} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Si $\nu_{lab} = \nu_{paleo}$ entonces las remanencias estuvieron relacionadas linealmente con el campo antiguo (Figura 1.18), por lo que la magnetización natural remanente tiene una sola componente y se puede conocer el campo magnético antiguo determinando la constante de proporcionalidad ν , a través de magnetizar al material con campos conocidos (H_{lab}) y medir las magnetizaciones remanentes.

$$H_{paleo} = \frac{M_{NRM}}{M_{lab}} H_{lab} \quad \text{Ec. 1.17}$$

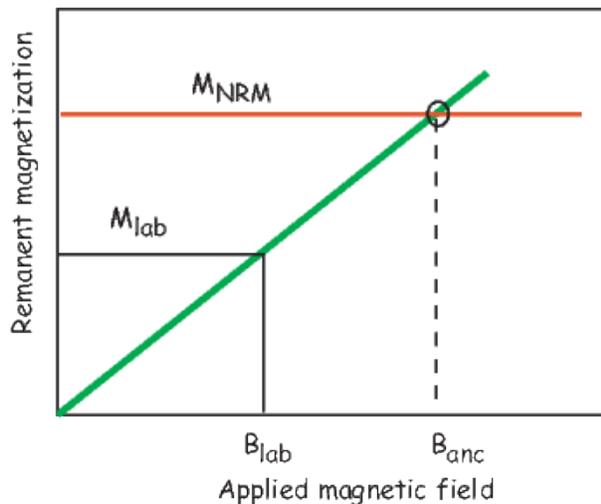


Fig. 1.18 Principio de estimación de la paleointensidad (Tauxe, 2010). Se asume que la magnetización se relaciona linealmente con el campo magnético, si la pendiente ν puede ser determinada por mediciones de laboratorio determinadas (M_{lab}/B_{lab}), entonces la NRM del material dado, M_{NRM} , puede ser mapeada para estimar el campo magnético antiguo B_{anc} .

La determinación de v es un proceso complejo y depende de varios factores: el tamaño de grano de los minerales magnéticos, la forma de los minerales magnéticos, la temperatura de bloqueo y propiedades magnéticas del material. Otros factores a considerar planteados por Tauxe (2010) son:

- La adquisición de magnetización NRM puede no aproximarse a una función lineal.
- El espécimen pudo tener alteraciones en su capacidad de adquirir remanencia (modificándose v_{lab}) por medio de desgaste u otras alteraciones químicas o durante la adquisición de remanencia en el laboratorio.
- Si la NRM original fue sostenida por granos de dominio múltiple o incluso pseudo sencillos (PSD), las condiciones exactas de adquisición de NRM pueden dificultar la reproducibilidad del proceso porque el desbloqueo puede ocurrir a diferente temperatura que el bloqueo.
- Si el espécimen es anisotrópico en el proceso de adquirir remanencia y el campo del laboratorio no es paralelo a la dirección del campo antiguo, las dos constantes de proporcionalidad pueden ser bastante distintas. De hecho, v es un tensor y su aproximación escalar a veces falla malamente.
- Si la NRM fue adquirida por un mecanismo difícil de reproducir en el laboratorio, la normalización será más difícil o incluso imposible. Como en el caso de la magnetización detrítica o química, o incluso para TRM adquiridas a una escala de tiempo inaccesible para los experimentos de laboratorio (rocas plutónicas por ejemplo).
- Si la remanencia natural comprende componentes múltiples, como una remanencia original más una viscosa o una isothermal, puede ser difícil aislar la remanencia primaria y normalizarla correctamente.

Por estas razones es necesario asumir las estimaciones de paleointensidad, la experimentación y métodos estadísticos involucrados en obtener datos de paleointensidad confiables. Por lo que la relación entre magnetización y campo magnético no es real-

mente lineal, debiendo realizarse correcciones sistemáticas para tener éxito y calidad de resultados. Las correcciones que deben realizarse son de ritmo de enfriamiento y de anisotropía de remanencia magnética.

Método Thellier & Thellier

Thellier y Thellier (1959), detectaron cambios en la constante de proporcionalidad acusada por una alteración de las fases magnéticas en las rocas durante calentamientos. De manera que, al calentar un espécimen en etapas se reemplaza progresivamente la remanencia natural por remanencias térmicas parciales. Cuando pasos a baja temperatura son repetidos es posible verificar directamente que la habilidad para adquirir termorremanencia del material no ha cambiado. Esto es posible al asumir dos preceptos importantes:

La ley de aditividad: La TRM puede estudiarse como una magnetización total resultado de la suma de magnetizaciones termorremanentes parciales TRM_p adquiridas a determinada temperatura de bloqueo (T_B) a partir de la cual los granos del material se orientan bajo la dirección del campo magnético presente. Entonces puede expresarse la siguiente ecuación (Ec. 1.18):

$$TRM = \sum_n TRM_p(T_{Bn}) \quad \text{Ec. 1.18}$$

La ley de independencia de las TRM_p : Se considera que las TRM_p sólo dependen del campo magnético presente durante el enfriamiento, en el intervalo de T_B correspondiente, y que no resultan afectadas por campos magnéticos aplicados durante el enfriamiento en intervalos de temperatura distintos a su T_B .

Además, una magnetización generada por enfriamiento a partir de una temperatura, podrá removerse completamente por recalentamiento a la misma temperatura, por lo que la temperatura de bloqueo y la temperatura de desbloqueo son iguales: *Ley de reciprocidad*.

El protocolo de Thellier y Thellier (1959) se basa en un doble calentamiento-enfriamiento que se repite aumentando la temperatura gradualmente, donde la NRM va disminuyendo en cada etapa de temperatura y se va adquiriendo una nueva magnetización bajo el campo aplicado en laboratorio. En el segundo calentamiento la dirección del campo magnético es opuesta a la primera, colocando los especímenes en dirección contraria o bien cambiando el campo.

El método de Thellier y Thellier se desarrolla de la siguiente manera:

1er ciclo. Calentar el especimen a la temperatura T_1 obteniendo una magnetización menor M_{NRM} , debido a que se pierde parte de la NRM correspondiente a las temperaturas de bloqueo tal que sea T_1 menor que la T_B y ésta a su vez, menor que la temperatura de Curie: $T_C > T_B > T_1$. Se deja enfriar el especimen en un campo artificial H_{lab} donde adquirirá una termorremanencia parcial TRM_p . Se mide la remanencia combinada y se obtiene el vector de magnetización M_1 :

$$M_1 = M_{NRM} + TRM_p \quad \text{Ec. 1.19}$$

2º ciclo. Calentar el especimen hasta T_1 . Se deja enfriar en presencia de un campo artificial con dirección antiparalela al del anterior ciclo, $-H_{lab}$. Se mide la remanencia combinada y se obtiene el vector de magnetización M_2 :

$$M_2 = M_{NRM} - TRM_p \quad \text{Ec. 1.20}$$

Al sumar Ec. 1.19 y Ec. 1.20 obtengo el valor de M_{NRM} para la T_1 de la siguiente forma:

$$M_{NRM} = \frac{M_1 + M_2}{2} \quad \text{Ec. 1.21}$$

Y obteniendo M_{NRM} , se puede conocer la magnetización termorremanente parcial adquirida en el calentamiento a T_1 :

$$TRM_p = M_1 - M_{NRM} = M_1 - \frac{M_1 + M_2}{2} \quad \text{Ec. 1.22}$$

Se repite lo anterior para temperaturas que aumenten progresivamente T_i , hasta que $T_C = T_B = T_1$ o bien hasta que se perciba una constante en TRM_p .

Se genera un diagrama donde se grafique la pérdida de NRM y sobrepuesta, la ganancia de TRM_p a diferentes temperaturas, este diagrama es llamado Diagrama de Arai, desarrollado por Nagata et al. (1965) mostrado en la Figura 1.19 a).

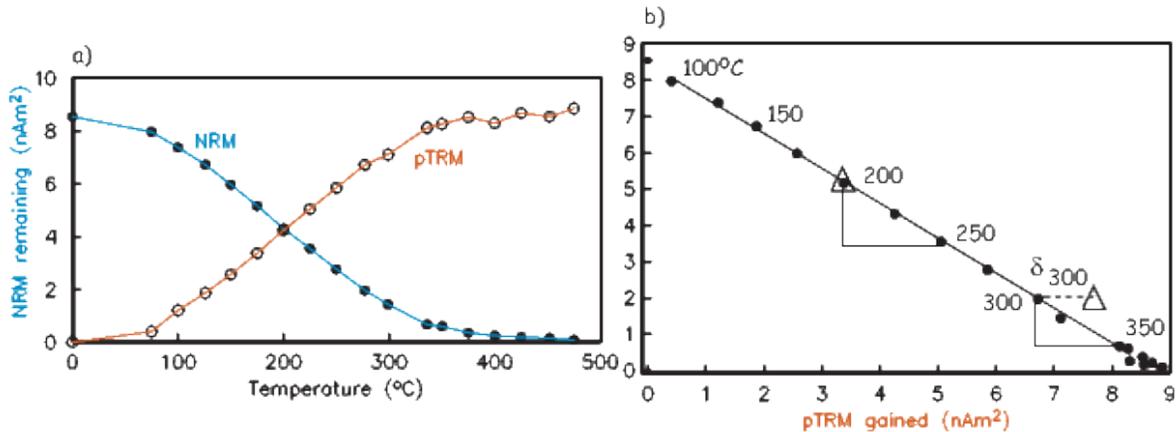


Figura 1.19. a) Diagrama de Arai, y b) PTRM check (Tauxe, 2016). a) Diagrama construido por las NRM y TRM_p obtenidas en dobles ciclos de calentamiento a temperaturas progresivas. b) Grafica de verificación de termorremanencia, que siendo lineal no se presentan cambios en la mineralogía de la muestra y no se modifica su adquisición de remanencia.

Obteniendo la pendiente del decrecimiento de NRM y multiplicando por el campo aplicado H_{lab} se obtiene el valor de la intensidad del campo geomagnético del pasado bajo el que el espécimen adquirió su termorremanencia natural. En la Figura 1.19 b) se observa el comportamiento de la NRM en comparación con la TRM_p ganada. Debe realizarse verificaciones entre intervalos de temperatura para detectar posibles cambios mineralógicos y/o químicos como resultado de los calentamientos repetitivos, los cuales llevarían al espécimen a alterar la capacidad de adquirir termorremanencias.

La verificación mencionada se realiza tras el doble ciclo de calentamiento repitiendo el calentamiento a $T_1 < T_2$ en presencia del campo en dirección positiva H_{lab} , para tener dos registros de adquisición de TRM_p para la misma temperatura T_1 . Se comparan las adquisiciones para T_1 haciendo el cociente $\frac{M_{NRM}}{TRM_p}$, si el resultado es menor o igual al

15% se acepta esa etapa y se incluye en el cálculo de paleointensidad propuesto por Selkin y Tauxe (2000).

Método Thellier-Coe

Una modificación al método Thellier y Thellier *clásico* fue desarrollado por Coe et al. (1978) realizando el enfriamiento del primer ciclo en presencia de un campo nulo, para medir directamente M_{NRM} , así el vector de magnetización medido M_1 sería:

$$M_1 = M_{NRM} \quad \text{Ec. 1.23}$$

Y en el segundo ciclo, realizar el enfriamiento bajo un campo creado en el laboratorio, obteniendo una TRM_p , entonces, el vector de magnetización medido M_2 es:

$$M_2 = M_{NRM} + TRM_p \quad \text{Ec. 1.24}$$

De esta forma se obtienen los dos vectores de magnetización del doble ciclo de calentamiento. La magnetización termorremanente parcial adquirida TRM_p se obtiene:

$$TRM_p = M_2 - M_1 = M_2 - M_{NRM} \quad \text{Ec. 1.25}$$

Entonces, obteniendo M_{NRM} y TRM_p para una T_1 , se repite el método para varias temperaturas. De igual forma que en el método clásico, se construye el Diagrama de Arai y con la pendiente de la Gráfica de Arai se determina la paleointensidad del campo geomagnético antiguo del cual el espécimen adquirió su magnetización termorremanente natural. También se realizan las verificaciones entre los intervalos de temperatura.

Parámetros de calidad de paleointensidad

No sólo la capacidad de adquirir magnetización de un espécimen se puede alterar en el proceso, sino que también puede presentarse generación de magnetizaciones secundarias durante el proceso debido a los tamaños de granos del material, o bien que no se cumpla la ley de reciprocidad. De manera que se han determinado ciertos parámetros para asegurar la calidad del proceso de determinación de paleointensidad (Tauxe, 2010).

Parámetro f "fracción de NRM" indica la fracción de remanencia de la componente usada en el cálculo de la pendiente en la Gráfica de Arai. $f \geq 30\%$ se considera aceptable.

El parámetro g penaliza una distribución de datos no homogénea, si quedan huecos en la distribución de datos de la pendiente en la Gráfica de Arai. Se considera aceptable $g > 60\%$.

Parámetro q , llamado índice de calidad de Coe, combina la desviación estándar de la pendiente β , con f y g de la forma: $q = \beta fg$ Ec. 1.26

El valor de q es directamente proporcional a la calidad del resultado de paleointensidad y se considera adecuado si $q \geq 5$ (Tauxe, 2010).

Los resultados gráficos se presentan en diagrama NRM-TRM, diagrama de Arai, diagramas de Zijderveld y Estereored y la determinación de arqueointensidad se expresa en valor absoluto con unidad μT y acompañado de los parámetros de calidad.

Los experimentos de arqueointensidad se llevaron a cabo en el Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica-Unidad Michoacán siguiendo el protocolo Thellier-Coe, la mayoría de especímenes fueron sometidos a 14 pasos de calentamiento con y sin campo magnético. El campo magnético aplicado en el laboratorio fue de $40\mu\text{T}$. Se utilizó un magnetómetro de giro JR6 y un horno MMTD80A, ambos acoplados en una jaula de bloqueo magnético. La interface REMA6 del magnetómetro emitió los datos de cada experimento en archivo con formato .JR6.

Efecto de ritmo de enfriamiento

El enfriamiento de un cuerpo decae exponencialmente, según la ley de enfriamiento de Newton, por lo que puede ser un tiempo considerable el que la temperatura del objeto calentado vuelva a ser la del ambiente.

Teniendo esto en cuenta, para la adquisición de magnetización termorremanente existe una dependencia con la velocidad de enfriamiento cuando el material se encuentra bajo un campo magnético.

En la determinación de paleointensidad absoluta por los experimentos de Thellier, el tiempo aproximado de enfriamiento para una muestra es entre una y dos horas,

mientras que en la naturaleza, el tiempo de enfriamiento para rocas es al rededor de 16 días, tiempo mucho mayor en el que adquieren magnetización termorremanente, observado y evaluado por Morales et al. (2006).

Esto conlleva a una estimación errónea al calcular la paleointensidad con los tiempos cortos de laboratorio, por lo que es necesario realizar una corrección sistemática en el proceso experimental que reduzca el error por diferencia en velocidad o ritmo de enfriamiento.

La teoría de Néel (1949) sobre la velocidad de enfriamiento de granos finos ferromagnéticos de dominio simple en un proceso de adquisición de TRM muestra un comportamiento de decaimiento exponencial entre la magnetización remanente inicial y la magnetización remanente en un determinado tiempo, relacionándolas con una variable característica del material, llamada tiempo de relajación τ , ecuación 2 (Ec. 1.27)

$$M_r(t) = M_{r0} e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)} \quad \text{Ec. 1.27}$$

donde M_{r0} es la magnetización remanente inicial, t es el tiempo y τ es el tiempo de relajación característico del material.

El tiempo de relajación τ es el periodo de tiempo en el que la magnetización remanente de un grupo de granos ferromagnéticos de dominio simple decae de M_{r0} a $M_r(t)$ en forma $\frac{1}{e}$. Esta variable depende de propiedades magnéticas del grano como su volumen, la fuerza coercitiva, la magnetización de saturación y de la energía térmica en relación a la energía anisotrópica magnética Kv , y se define en las siguientes ecuaciones (Ec. 28 a Ec. 31):

$$\tau = \frac{1}{C} e^{\frac{[\text{energía anisotrópica}]}{[\text{energía térmica}]}} \quad \text{Ec. 1.28}$$

siendo $\text{energía anisotrópica} = Kv = \frac{1}{2} v h_c M_s$ Ec. 1.29

$$\text{energía térmica} = kT \quad \text{Ec. 1.30}$$

Por lo que el tiempo de relajación queda definido por: $\tau = \frac{1}{C} e^{\left(\frac{v h_c M_s}{2kT}\right)}$ Ec. 1.31

donde, C es un factor de frecuencia con valor cercano a 10^{10} s^{-1} , v es el volumen del grano, h_c es la fuerza coercitiva, M_s es la magnetización de saturación, k es la constante de Boltzman $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ m}^2\text{kg}/\text{s}^2\text{K}$ y T es la temperatura absoluta en Kelvin.

También se le llama *energía de bloqueo* al producto vh_cM_s que impide la rotación de la magnetización M_s del grano. De manera que el tiempo de relajación τ está determinado por la razón entre la energía de bloqueo y la energía térmica.

El tiempo de relajación varía rápidamente con pequeños cambios de volumen y temperatura. Tauxe (2010) presenta la relación del tiempo de relajación respecto al tamaño de grano, Fig. 1.20, observando un comportamiento exponencial de esta variable, y hace posible garantizar la magnetización para materiales de edades geológicas si el tamaño de los granos es adecuado, como en los estudios paleomagnéticos.

Granos con tiempo de relajación entre 10^2 a 10^3 segundos tienen suficiente energía térmica para superar la energía de bloqueo y son inestables para el trabajo en laboratorio. En un campo cero, los momentos de estos granos tenderán rápidamente a disposiciones aleatorias, y bajo un campo aplicado tenderán rápidamente a alinearse conforme al campo. Este comportamiento es bastante similar al paramagnetismo, por lo que este tipo de granos son llamados súper-paramagnéticos (SP). Dichos granos pueden ser distinguibles de los paramagnéticos porque el campo requerido para saturar sus momentos magnéticos son mucho menores a 1 Tesla, cuando los paramagnéticos requieren cientos de teslas.

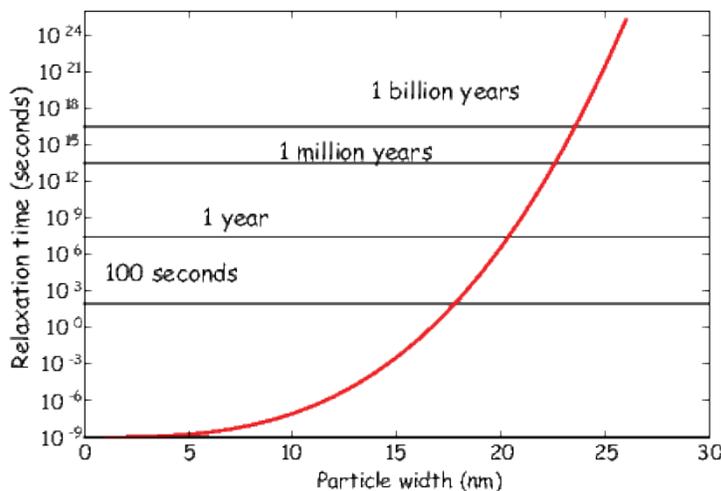


Fig. 1.20. Gráfica de tiempo de relajación contra ancho de partícula (Tauxe et al., 2018).

Para el caso de un volumen bajo de granos súper paramagnéticos (SP), el producto νh_c es muy pequeño, por lo que el tiempo de relajación es menor a 100 segundos, y esto implica que los granos pierdan la magnetización casi instantáneamente.

Para granos de dominio simple (SD) la estabilidad magnética será mayor si ν y h_c aumentan, siendo entonces el tiempo de relajación entre 10^6 o 10^9 años, lo que representa una buena estabilidad magnética en este tipo de grano para edades geológicas (Butler, 1992).

Temperatura de bloqueo

Dado que en el proceso de adquisición de TRM la temperatura y el tiempo de relajación son inversamente proporcionales, si T aumenta entonces τ disminuye. Se define como temperatura de bloqueo a la temperatura tal que logre que τ decrezca hasta que sea inestable la M_r y el material tenga un comportamiento súper paramagnético, de manera en que los momentos magnéticos son estables.

Al decrecer la temperatura a partir de T_B el material aumenta drásticamente su tiempo de relajación y vuelve al comportamiento estable de dominio simple. Entonces, si un material con granos simples tienen un tiempo de relajación cercano a 10^9 años a una temperatura de 20° C, a temperaturas elevadas puede comportarse como súper paramagnético. Este comportamiento se observa en rocas con granos de cierta forma y tamaño que las hacen tener una temperatura de bloqueo en un intervalo entre las temperaturas de Curie y la temperatura ambiente (Butler, 1992).

Modelo de Néel para TRM.

El desarrollo de Néel (1949) para la adquisición de termorremanencias se hace considerando granos idénticos, magnetizados uniformemente sin interacción y anisotropía uniaxial, campo aplicado H a lo largo del eje de anisotropía sencilla; donde los granos están magnetizados y sólo existen dos posibles estados de equilibrio magnético, el de mínima energía $-V\mu_0 M_s H$ y el de energía máxima $V\mu_0 M_s H$. Utilizando estadís-

tica de Boltzman para n partículas iguales, el número de granos en el estado de mínima energía n_m y el de máxima energía n_x está dado por:

$$n_m = \frac{ne^{(V\mu_0 M_s H)/kT}}{e^{(V\mu_0 M_s H)/kT} + e^{-(V\mu_0 M_s H)/kT}} \quad \text{Ec. (1.32)}$$

$$n_x = \frac{ne^{-(V\mu_0 M_s H)/kT}}{e^{(V\mu_0 M_s H)/kT} + e^{-(V\mu_0 M_s H)/kT}} \quad \text{Ec. (1.33)}$$

donde k es la constante de Boltzman y T la temperatura. Por tanto, la magnetización resulta:

$$M = n_x VM_s - n_m VM_s = n VM_s \tanh \quad \text{Ec. (1.34)}$$

Néel propone la temperatura de bloqueo T_N para la cual el ensamble de granos está en equilibrio y M se encuentra encerrada en el material. De manera que la magnetización termorremanente M_T a temperatura ambiente está dada por:

$$M_T = n VM_s \tanh\left(\frac{V\mu_0 M_s H}{kT}\right)_{T=T_N} \quad \text{Ec. (1.35)}$$

De su desarrollo, Néel (1949) explica que en ocasiones M_T puede ser estable en grandes periodos de tiempo.

Evaluación de la velocidad de enfriamiento

García (1996) realizó una comparación de datos experimentales de varios autores para evaluar las correcciones de velocidad de enfriamiento en procesos de adquisición de TRM. Este estudio, sintetizado en la Tabla 1, muestra la diferencia porcentual entre la adquisición de TRM en el laboratorio (tiempos cortos) y la adquisición de TRM real (tiempos largos) para varios materiales, temperatura de calentamiento y tiempos de enfriamiento.

Los resultados experimentales que García utilizó fueron de Fox y Aitken (1980), McClelland Brown (1984), Golpeau et al. (1989), Chauvin (1989), Aitken et al. (1991) y Biquand (1994), mostrados en la Tabla 4:

Material	Intervalo de calentamiento		Tiempo de enfriamiento		TRM _L /TRM _R
	T inicial (° C)	T final (° C)	t rápido (minutos)	t lento (horas)	
Barro cocido	720	20	30	7	6% - 12%
Barro cocido	600	20	5	2.5	5%
Magnetita dominio simple	600	20	3	2.5	0% - 5%
Titano magnetita dominio múltiple	600	20	3	2.5	-40% - -600%
Basaltos	650	20	90	12	14%
CrO ₂ dominio múltiple	130	100	30	120	19%
Basaltos dominio múltiple	200	50	30 - 40	120	6%

Tabla 4 Efectos de la velocidad de enfriamiento en la adquisición de TRM (García, 1996). Para diferentes materiales se observa una diferencia porcentual en la adquisición de remanencia experimental respecto a la real dependiendo del tiempo de enfriamiento.

El ritmo de enfriamiento actúa en la intensidad de magnetización termorremanente según la naturaleza de los granos involucrados. Un enfriamiento lento para un sistema magnético de granos de dominio simple aumentará el valor de TRM en proporción variable de acuerdo a la distribución del tamaño y concentración de los granos.

Para granos con dominio múltiple o dominio pseudo-sencillo la acción por ritmo de enfriamiento no está bien definida ya que puede haber ganancias en TRM pero también reducciones.

Para materiales de barro cocido se observa una ganancia de TRM entre 5% y 12% para tiempo rápido de enfriamiento, lo que implica una disminución en el porcentaje de arqueointensidad. Si se conoce el ritmo de enfriamiento original se compensaría directamente la diferencia de ritmo de enfriamiento, para casos de dominio simple.

Encontrando la diferencia porcentual de adquisición de TRM entre enfriamiento rápido y enfriamiento lento (TRM_L/TRM_R), se toma como factor de corrección para

cada especimen. Esta corrección en conjunto con un factor llamado de alteración (determinar si la capacidad de adquirir TRM del material se conserva), dan confiabilidad a los datos de arqueointensidad para nuestro estudio.

Corrección por efecto de ritmo de enfriamiento y factor de alteración

Durante la adquisición de TRM en el laboratorio es necesario obtener un factor de corrección debido al ritmo de enfriamiento experimental, esta corrección debe hacerse para todos los especímenes, aunque provengan de un mismo material, pues pueden tener características distintas.

El procedimiento propuesto por Chauvin et al. (2000) para determinar el factor de corrección implica realizar cuatro ciclos más de adquisición de magnetización termorremanente parcial (TRM_p) al final de los experimentos de Thellier clásico, utilizando la misma temperatura del último calentamiento registrado en el diagrama de Arai correspondiente. Los cuatro calentamientos adicionales se tienen que realizar con el siguiente orden y especificaciones:

1° Enfriamiento rápido a la misma velocidad que en Thellier y con campo en dirección positiva a lo largo del eje Z del especimen, la magnetización obtenida se nombra $TRMr_+$.

2° Enfriamiento rápido a la misma velocidad que en Thellier y con campo en dirección antiparalela a lo largo del eje Z del especimen, la magnetización obtenida se nombra $TRMr_{1-}$.

3° Enfriamiento lento y con campo en dirección positiva a lo largo del eje Z, la magnetización obtenida se nombra $TRMl_+$.

4° Enfriamiento rápido y con campo en dirección antiparalela a lo largo del eje Z, la magnetización obtenida se nombra $TRMr_{2-}$.

Con las anteriores termorremanencias parciales se determina el factor de corrección por ritmo de enfriamiento *f. c.* con la ecuación siguiente (Ec. 1.36):

$$f. c. = \frac{TRMl_+ - TRMr_+}{TRMr_+} \quad \text{Ec. 1.36}$$

Para detectar posibles cambios mineralógicos en los materiales al exponerse repetidamente a altas temperaturas en el laboratorio, se determina un factor de alteración para comprobar la capacidad del material de adquirir termorremanencias parciales TRM_p . Comparando la ganancia de TRM_p en los dos enfriamientos rápidos en campos antiparalelos, el factor de alteración $f. a.$ se calcula con la siguiente relación (Ec. 9):

$$f. a. = \frac{TRMr_{2-} - TRMr_{1-}}{TRMr_{1-}} \quad \text{Ec. 1.37}$$

Si $f. a.$ es menor al 15%, se multiplica la intensidad obtenida por el factor de corrección de ritmo de enfriamiento $f. c.$ Si $f. a.$ es mayor al 15% no se aplica el factor de corrección pues podría agregarse al cálculo una porción de magnetización generada por minerales formados en el último proceso.

Para la determinación de paleointensidad con el método Thellier modificado por Coe, el procedimiento para calcular los factores de corrección y alteración es el siguiente. Se realizan tres calentamientos adicionales al método, todos con dirección positiva respecto al eje Z de los especímenes, y con enfriamientos en el siguiente orden:

- 1º Enfriamiento rápido, la termorremanencia parcial adquirida se nombra $TRMr_1$.
- 2º Enfriamiento lento, la termorremanencia parcial adquirida se nombra TRM_L
- 3º Enfriamiento rápido, la termorremanencia parcial adquirida se nombra $TRMr_2$.

El factor de corrección por ritmo de enfriamiento se calcula (Ec. 1.38):

$$f. c. = \frac{TRMr_1 - TRM_L}{TRMr_1} \quad \text{Ec. 1.38}$$

Y el factor de alteración se obtiene (Ec. 11):

$$f. a. = \frac{TRMr_1 - TRMr_2}{TRMr_1} \quad \text{Ec. 1.39}$$

Si *f. a.* es menor al 15%, la paleointensidad obtenida se multiplica por el *f. c.* Si *f. a.* es mayor al 15%, no se aplica el *f. c.*.

Anisotropía de magnetización termorremanente

Los experimentos de arqueointensidad dependen fuertemente de la diferencia de la tasa de calentamiento entre las condiciones de enfriamiento naturales y de laboratorio, y de la anisotropía de la magnetización termorremanente TRM (*Le Goff y Gallet, 2004*).

La anisotropía de la TRM será determinada siguiendo el proceso de McCabe et al. (1985) y Selkin y Tauxe (2000). Se aplicará una TRM a los especímenes a lo largo de seis direcciones axiales (+X, +Y, +Z, -x, -Y,-Z), enfriándolas desde 580 °C hasta la temperatura ambiente, en un campo magnético conocido (usualmente de 30- a 50 μ T). Se usará una desmagnetización en campo cero como la línea de base entre cada paso de TRM. El cálculo de la anisotropía del tensor de la TRM determinará la corrección de los resultados en la determinación de la arqueointensidad según el porcentaje resultante..

Referencias

Aitken, M. J., Pesonen, L. J. y Leino, M. (1991). The Thellier paleointensity technique: Minisamples versus Standard size. *Geomag. Geoelectr.* 43, pp. 325-331.

Biquand, D. (1994). Effet de la vitesse de refroidissement sur l'intensité de l'aimantation thermorémanente: étude expérimentale, conséquences théoriques. *Can. J. Earth Sci.*, vol. 31, pp. 1342-1352.

Butler, R. (1992). *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Arizona: Blackwell Scientific Publications.

Chauvin, A. (1989). Intensité du champ magnétique terrestre en périodes stables et de transition, enregistrée par des séquences de coulées volcaniques du quaternaire. *Memoi-*

res es documents du Centre Armoricaïn d'Etude Structureales des socles. LP CNRS No. 4661, Université de Rennes 1.

Chauvin, A., Garcia, Y., Lanos, P. Y Laubenheimer, F. (2000). Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Phys. Earth Planet. Inter.* 120, 111-136.

Chulliat, A., Brown, W., Alken, P., Beggan, C., Nair, M., Cox, G., Woods, A., MacMillan, S., Meyer B. y Panizza, M. (2020). The US/UK World Magnetic Model for 2020-2025: Technical Report, National Centers for Environmental Information, NOAA, doi: 10.25923/ytk1-yx35.

Coe, R.S., Grommé, S. y Mankinen, E.A. (1978). Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 83 (B4), 1740-1756.

Dunlop, D. J. (1995). Magnetism in rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B2), 2161-2174.

Elsasser, V. M. (1958). The Earth as a Dynamo. *Scientific American*, Vol. 198, 5.

Fisher, R. A. (1953). Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society*. Vol. A.217, London, pp. 295-305.

Fox, J. M. W. y Aitken, M. J. (1980). Cooling rate dependance of thermoremanent magnetization. *Nature*, vol. 283, pp 462-463.

García, Y. (1996). Variation de l'intensité du Champ Magnétique Terrestre en France Durant les deux derniers milléneaires. Tesis de doctorado. Université de Rennes 1, Rennes, France.

Gilbert, W. (1600). De Magnete. De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure. Londres.

Glatzmaier, G. y Roberts, P. (1995). A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal. *Nature*, 377, 203-209.

Golpeau, L., Lanos, P. y Langouët, L. (1989). The anisotropy as a disturbance of the archaeomagnetic dating method. *Archaeometry, Proceeding of the 25th International Symposium*. Elsevier Publ., pp 45-58.

Kirschvink, J. L. (1980). The least-squares lines and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. Jour. Roy. Astron. Soc.*, 62, pp. 699-718.

Le Goff, M. y Gallet, Y.,(2004). A new three axis vibrating sample magnetometer for continuous high-temperature magnetization measurements: applications to paleo and archeointensity determinations, *Earth Planet. Sci. Let.*, 229, 31-43.

McCabe, C., Jackson, M. Y Ellwood, B. (1985). Magnetic anisotropy in the Trenton limestone: results of a new technique, anisotropy of anhysteretic susceptibility. *Geophys. Res. Lett.* 12,333-336.

McClelland Brown, E. (1984). Experiments on TRM intensity dependance on cooling rate. *Geophysical Research Letters*, vol. 11 No. 3, pp 39-51.

Merril R. T., McElhinny, M. W., y McFadden, P. (1983). *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle*. Academic Press. 531 pp.

Morales, J., Goguitchaichvili, A. y Urrutia-Fucugauchi, J. (2006). Cooling effects on the magnetization of volcanic rocks: Some implications for paleointensity determination. *Geofísica Internacional*, Vol. 45, Num. 2, pp. 141-146.

NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio (2012). Geomagnetosphere model. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/50208/earths-magnetosphere>

NCEI Geomagnetic Modeling Team and British Geological Survey (2019). World Magnetic Model 2020. NOAA National Centers for Environmental Information. doi: 10.25921/11v3-da71, 2020,

Néel, L. (1949). Théorie du Trainage magnétique des ferromagnétiques en grains fins avec applications aux terres cuites. *Annales de Geophysique*, 5, pp. 99-136.

Rikitake, T. (1967). Non-dipole field and fluid motion in the earth's core. *Journal of geomagnetism and geoelectricity*, 19(2), 129-142.

Selkin, P. A. and Tauxe, L. (2000), Long-term variations in palaeointensity. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 358, 1065-1088.

Soler-Arechalde, A. M. (2006). Investigaciones arqueomagnéticas en México. Fundamentos. Historia y Futuro. Monografías del Instituto de Geofísica UNAM, México.

Tarling, D. H. (1983). Palaeomagnetism: Principles and applications in geology, geophysics and archaeology. Springer Netherlands. p. 380.

Tauxe, L. (2010). Essentials of Paleomagnetism. University of California Press.

Tauxe, L, Banerjee, S.K., Butler, R.F. y Van Der Voo R. (2018). Essentials of Paleomagnetism, 5th Web Edition.

Thellier, E. y Thellier, O. (1959). Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophysique*, (15) 288-376.

Zijderveld, J. D. A. (1967). A. C demagnetization of rocks: analysis of results. En D. Collinson, K. Creer y S. Runcorn (Editores). *Methods in Paleomagnetism*. pp. 254-286. Elsevier. Amsterdam.

CAPÍTULO 2

Investigaciones Arqueomagnéticas en México

México fue uno de los primeros países en que se hicieron investigaciones arqueomagnéticas, no sólo por contar con un amplio y diverso pasado cultural, sino por ser tierra de volcanes. El sitio arqueológico de Cuicuilco ubicado al sur de la Cuenca del Valle de México, sitio del formativo (700 aC a 250 dC según Heizer y Bennyhoff, 1958 y 1972) que terminó sepultado por flujos del Xitle, fue analizado de los flujos como de los fragmentos de cerámicas al interior de los mismos, permitía a los investigadores estudiar el registro de la magnetización en ambos materiales. Al primer estudio arqueomagnético realizado por Nagata et al. (1965) no hubo una continuidad, en los años ochenta otros estudios se realizaron con un proyecto entre la UNAM y la Universidad de Sternwarte en Bonn. Fue hacia el año 2000 en que las investigaciones arqueomagnéticas se desarrollaron de manera continua, con un gran número de proyectos y tesis tanto de licenciatura como de posgrado de la UNAM. En este capítulo se hace una compilación de los trabajos arqueomagnéticos en México así como un análisis que oriente trabajos futuros.

Primeros estudios

Nagata et al. (1965) estudiaron cerámica y rocas de Cuicuilco, sitio ubicado al sur de la Cuenca de México (Fig. 1 a) afectado por la erupción del Xitle, de temporalidad en discusión, pues se estima entre el 1670 ± 35 aP por Siebe (2000) y según Delgado (1998) hacia 1977 ± 43 aP. El sitio era muy interesante ya que además de contar con desarrollo cultural y por tanto objetos cerámicos, permitía la determinación de paleointensidades de las rocas producto de esta erupción y obtener una comparación de ambas determinaciones.

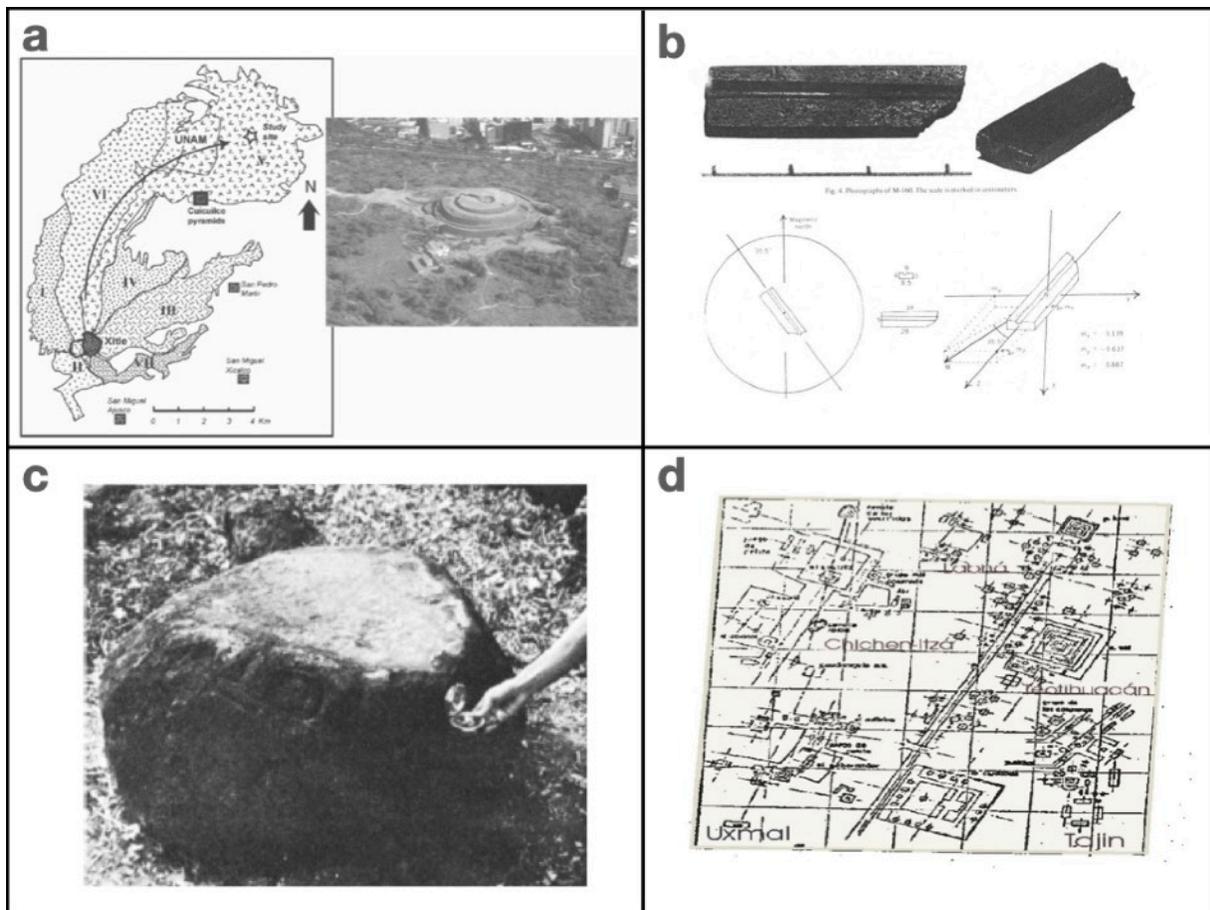


Figura 1. a) Sitio arqueológico de Cuicuilco cubierto de los flujos del Xitle. b) M-160 de San Lorenzo Tenochtitlan, Veracruz. c) Cabeza de tortuga en Izapa, Chiapas. d) Ejes de los principales edificios del Formativo con desviación de 8° al noroeste (Modificado de Soler-Arechalde, 2006b).

En 1967 se encontró un fragmento de magnetita denominado M-160, en San Lorenzo Tenochtitlan, Veracruz, sitio olmeca con ocupación entre el 1400 y 1000 aC. M-160 fue descrito por Coe (1967) como una probable brújula flotante (Fig. 1b). Carlson (1975) realizó estudios de flotación de M-160 en mercurio y depositado en una estera de corcho sobre agua, realizó espectroscopia Mōssbauer y determinó el momento magnético. Los resultados muestran que el momento magnético de M-160 se encuentra en el plano de flotación, lo que indica una manufactura con tal propósito y refuerza la hipótesis de ser una brújula flotante.

Un amplio estudio de determinación de paleointensidades de cerámicas fue realizado por Bucha et al. (1970), 20 fragmentos de cerámica proveniente de los sitios: Morett y Playa del Tesoro en Colima, Cuautitlán, Estado de México, Tula, Hidalgo, Tizapán El Alto en Jalisco y Amapa en Nayarit; sitios arqueológicos con ocupación entre los años 300 aC al 1590 dC.

Un parteaguas en los estudios de arqueomagnetismo en Mesoamérica fue la tesis doctoral de D. Wolfman (1973) donde publicó una cronología para Mesoamérica del 1 al 1200 dC basado en datos arqueomagnéticos direccionales de 81 muestras que tomó en los años de 1969 y 1973, en doce sitios en México, dos en Guatemala, uno en Honduras y seis en El Salvador. El uso de dataciones por radiocarbono no estaba muy generalizado en el área por lo que como él mismo reconoce que su curva cuenta con pocas dataciones radiométricas y que su propuesta está más bien basada en estratigrafía, restos cerámicos y etapas constructivas. Los datos disponibles en ese momento fueron compilados por Urrutia (1975).

Malmstrom (1976) reporta en Izapa, Chiapas (Fig. 1c) una cabeza de tortuga que al acercársele una brújula en cualquier punto de la misma, la 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, lo que apunta a reflexionar sobre el conocimiento de los olmecas sobre el magnetismo.

Otra evidencia del posible conocimiento del magnetismo por parte de las culturas prehispánicas, es el estudio de Urrutia et al. (1981 y 1986) desarrollado como parte de proyecto de colaboración entre la UNAM y la Universidad de Sternwarte en Bonn, Alemania. En el informe se reporta 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 y para sitios del clásico como Teotihuacan, Chiche- Itzá, Uxmal y Labná, la desviación es de 20° hacia el noreste (Fig. 1d).

Un nuevo impulso para el arqueomagnetismo en México se dio en 1999, con el planteamiento de que el estuco, material ampliamente empleado en Mesoamérica, pudiese comportarse como sedimentos que adquieren magnetización por deposición. Esto no se había hecho en Europa debido a que la elaboración del estuco fue distinta, en México se detectó que se añadía a la mezcla productos volcánicos como ceniza y escoria molida, lo que podría hacer posible el registro del campo geomagnético, ya que estos materiales contenían una gran cantidad de minerales magnéticos y se alinean conforme al campo presente al momento de fraguarse (Hueda, 2000), lo anterior permitiría el análisis de muestras no afectadas por el fuego. Con ayuda del Dr. Tarling de la Universidad de Plymouth en Teotihuacán se efectuó un muestreo y Hueda y Soler (2001) adquirieron y registraron la técnica empleada para estucos mesoamericanos: la adhesión con pegamento epóxico de un testigo cilíndrico de madera a la muestra, una vez seco se podía orientar, tanto con brújula magnética como solar y se facilitaba la extracción del espécimen. Ya con la técnica se estudiaron los sitios de Teopancazco, barrio aledaño a Teotihuacan, Cacaxtla en Tlaxcala, Xochicalco en Morelos (Soler-Arechalde, 2006c, d, 2007 y 2008) y Templo Mayor de la Ciudad de México (Hueda y Soler, 2001). Dado el tipo de muestreo, los especímenes son procesados mediante campos alternos y se obtuvieron determinaciones de arqueodirección para Teopancazco y Templo Mayor (Tabla 1) en estucos no quemados donde el registro de la magnetización fue bueno y coincidente con las temporalidades determinadas por radiocarbono y estratigrafía, no así para Cacaxtla ni Xochicalco (Hueda et al., 2004). También se realizaron estudios de propiedades magnéticas de rocas para determinar los minerales portadores de magnetización..

Con el crecimiento de datos arqueomagnéticos Soler-Arechalde (2006 b) construyó una curva de variación secular integrando los datos de Wolfman (1990), de rocas volcánicas y sedimentarias estudiadas por Urrutia (1996) y Latham, et al. (1986) y las determinaciones para el centro de México de Hueda et al. (2004) y Soler-Archalde et al. (2006 a). Se empleó una ventana de 100 años con promedios de cada 50 años y utilizó

una distribución Fisher no ponderada. Para la datación se empleó la técnica de punto de intersección planteada por LeGoff et al. (2002) y por Noel y Batt (1990), debido a que es posible obtener más de un período de coincidencia, se determina la de mayor probabilidad mediante correlación estratigráfica y/o datación por radiocarbono que existiese para el sitio. A partir de 2010 se comenzó a utilizar el software RENDATE (Lannos, 2004) que emplea estadística bayesiana y muestreo jerárquico.

El trabajo arqueomagnético se desarrolló intensivamente a partir del 2000 en el Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica-UNAM y reportando resultados, en su mayoría, en tesis de licenciatura en Física, Arqueología y posgrados. El crecimiento de la UNAM en sus campus Morelia y Querétaro permitió expandir los sitios estudiados y multiplicar las investigaciones arqueomagnéticas. A continuación, se muestra en la Tabla 1 el compendio de los sitios estudiados por arqueomagnetismo, indicando el número y temporalidad de las muestras y la referencia de su publicación. La ubicación de los sitios de estudio se observan en la Figura 2.

Las direcciones de los VGP para Mesoamérica se muestran en la Figura 3, incorporando los 28 datos arqueodireccionales para México de Wolfman (1990) y los realizados a partir de 1999 por el Laboratorio de Paleomagnetismo UNAM, el Servicio Arqueomagnético Nacional UNAM-Morelia y Laboratorio de Paleomagnetismo de Centro de Ciencias de la Tierra UNAM-Querétaro, que suman 126 investigaciones publicadas.

Arqueométricamente también se ha observado un incremento en el número de dataciones por otras técnicas, en su mayoría radiocarbono, en los proyectos arqueológicos en México que permiten comparar e integrar resultados con el arqueomagnetismo, los trabajos de Beramendi-Orosco et al. (2009, 2012 y 2020) son ejemplos exitosos de colaboraciones arqueométricas que permiten el desarrollo de modelos cronológicos robustos, y de mejor resolución para la construcción de las curvas de variación secular locales.

Tabla 1. Sitios, número de muestras, temporalidad y referencia de publicación de los estudios de arqueodirecciones en México.

Sitio arqueológico	# Muestras	Temporalidad	Referencia
Brawbehl, Oaxaca	1	Preclásico	Wolfman,1990
Cacaxtla, Tlaxcala	1	Postclásico	Goguitchaichvili et al. 2016
Cerro Zapotecas, Puebla	1	Postclásico	Wolfman,1990
Chachi, Chiapas	1	Postclásico	Wolfman,1990
Chapultepec, Cd. Mx.	1	Clásico	López-Delgado et al. 2010
Cholula, Puebla	1	Clásico	Goguitchaichvili et al. 2016
Coyoacán, Cd. Mx.	3	Postclásico	Soler-Arechalde, 2012a
Coyoacán, Cd. Mx.	1	Clásico	Soler-Arechalde et al.,2013a
EL Coporo, Guanajuato	5	Postclásico	Pimentel et al., 2020
El Ocote, Aguascalientes	1	postclásico	Cejudo et al.,2019
Guachimontones, Jalisco	5	Preclásico	López-Delgado et al. 2017
Guachimontones, Jalisco	4	Clásico	López-Delgado et al. 2017
Guachimontones, Jalisco	3	Postclásico	López-Delgado et al. 2017
Huapalcalco, Hidalgo	2	Postclásico	Wolfman,1990
La Joya, Veracruz	4	Preclásico	Aguilar y Morales, 2011
La Joya, Veracruz	17	Clásico	Aguilar y Morales, 2011
La Quemada, Zacatecas	3	Postclásico	López Delgado et al.,2019
Lambityeco, Oaxaca	4	Postclásico	Wolfman,1990
Los Grifos, Chiapas	3	Preclásico	Fregoso, 2010
Los Grifos, Chiapas	2	Postclásico	Fregoso, 2010
Manzanillo, Puebla	4	Clásico	Wolfman,1990
Monte Alban, Oaxaca	1	Postclásico	Wolfman,1990
Monte Alban, Oaxaca	1	Clásico	Wolfman,1990
Panteón, Chiapas	1	Preclásico	Wolfman,1990
Plazuelas, Guanajuato	1	Postclásico	Morales et al.,2015
Sierra de las Navajas, Hgo.	3	Clásico	Terán-Guerrero et al.,2016
Tecamac, México	4	Postclásico	Saavedra,2010

Sitio arqueológico	# Muestras	Temporalidad	Referencia
Templo Mayor, Cd. Mx.	1	postclásico	Goguitchaichvili et al., 2016
Templo Mayor, Cd. Mx.	1	Postclásico	Hueda 2000
Templo Mayor, Cd. Mx.	1	Postclásico	Rodriguez-Ceja, 2003
Templo Mayor, Cd. Mx.	7	Postclásico	Soler-Arechalde et al., 2012b
Teopancazco, México	3	Clásico	Hueda et al.,2004
Teopancazco, México	2	Clásico	Soler et al.,2006a
Teopancazco, México	5	Clásico	Romero, 2008
Teopancazco, México	1	Preclásico	Hernández, 2010
Teopancazco, México	7	Clásico	Hernández, 2010
Teopancazco, México	1	Clásico	Wolfman,1990
Teopancazco, México	1	Clásico	Goguitchaichvili et al., 2018b
Teopancazco, México	2	preclásico	Terán-Guerrero et al., 2016
Teopancazco, México	4	Clásico	Terán-Guerrero et al., 2016
Teopancazco, México	2	Clásico	Hueda y Soler-Arechalde ,2001
Teopancazco, México	1	Postclásico	Wolfman,1990
Teopancazco, México	7	Clásico	Wolfman,1990
Tierras Largas, Oaxaca	4	Postclásico	Wolfman,1990
Tlatelolco, Cd. Mx.	2	Postclásico	Guerrero, 2003
Tomaltepec, Oaxaca	2	Preclásico	Wolfman,1990
Tula, Hidalgo	9	Postclásico	Martínez, 2012
Tula, Hidalgo	3	Postclásico	Wolfman,1990
Tula, Hidalgo	4	Postclásico	Wolfman,1990
Xalasco, Tlaxcala	3	Clásico	Terán Guerrero et al.,2016
Xalla, México	3	Clásico	Soler et al.,2006
Xochicalco, Morelos	2	Postclásico	Soler y Hueda, 2006
Xochicalco, Morelos	2	Clásico	Soler et al.,2008
Xochicalco, Morelos	2	Clásico	Soler y Caballero, 2008

Continuación Tabla 1. Sitios, número de muestras, Temporalidad y referencias de los estudios de arqueodirecciones en México.

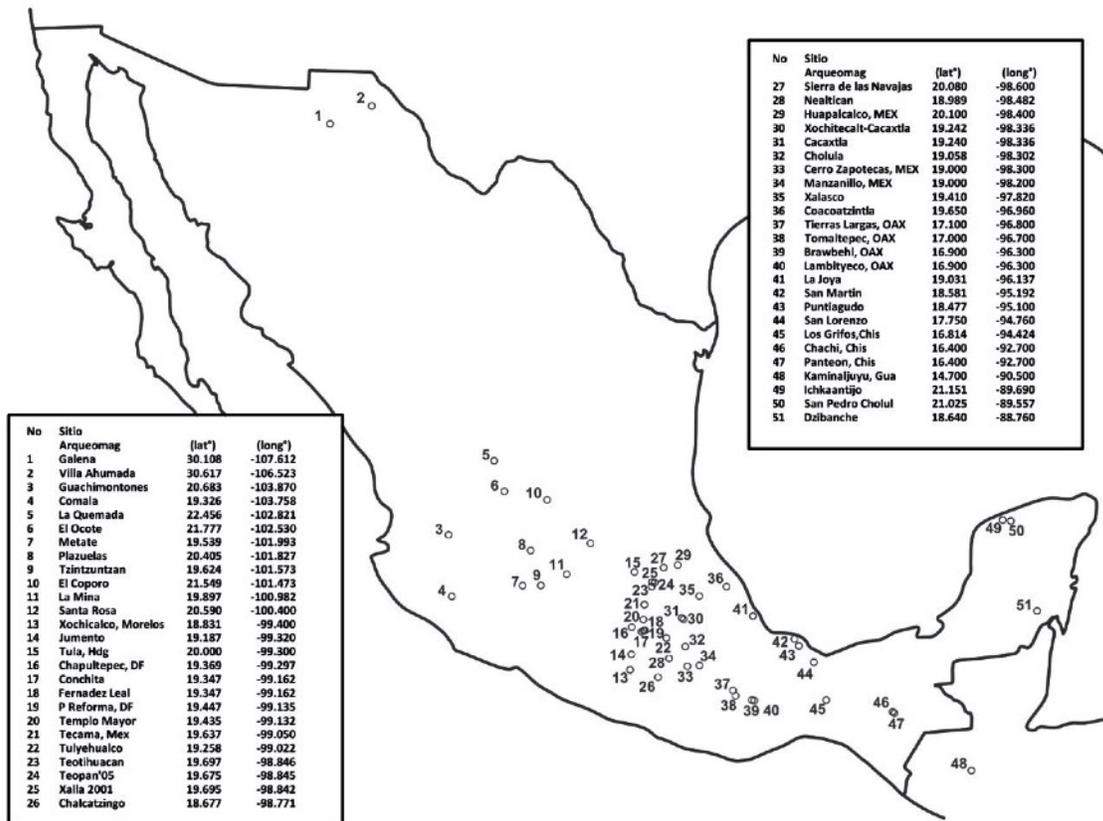


Figura 2. Sitios estudiados por arqueomagnetismo en México (Modif. Soler-Arechalde et al., 20019).

Las direcciones de los VGP para Mesoamérica se muestran en la Figura 3, incorporando los 28 datos arqueodireccionales para México de Wolfman (1990) y los realizados desde 1999 por el Laboratorio de Paleomagnetismo UNAM, el Servicio Arqueomagnético Nacional UNAM-Morelia y Laboratorio de Paleomagnetismo de Centro de Ciencias de la Tierra UNAM-Querétaro, que suman un total de 160 determinaciones.

El incremento de determinaciones de arqueodirecciones ha permitido conocer más las características del campo geomagnético en la región. Realizando un histograma de resultados por temporalidad obtenida (Fig. 4) y analizando la gráfica de direcciones (Fig. 3) se observan intervalos con menor densidad de datos, por lo que se requiere un mayor número de estudios para los periodos Preclásico entre 400 y 100 aC, el Clásico antes del 400 dC y para el Posclásico entre 1200 y 1500 dC.

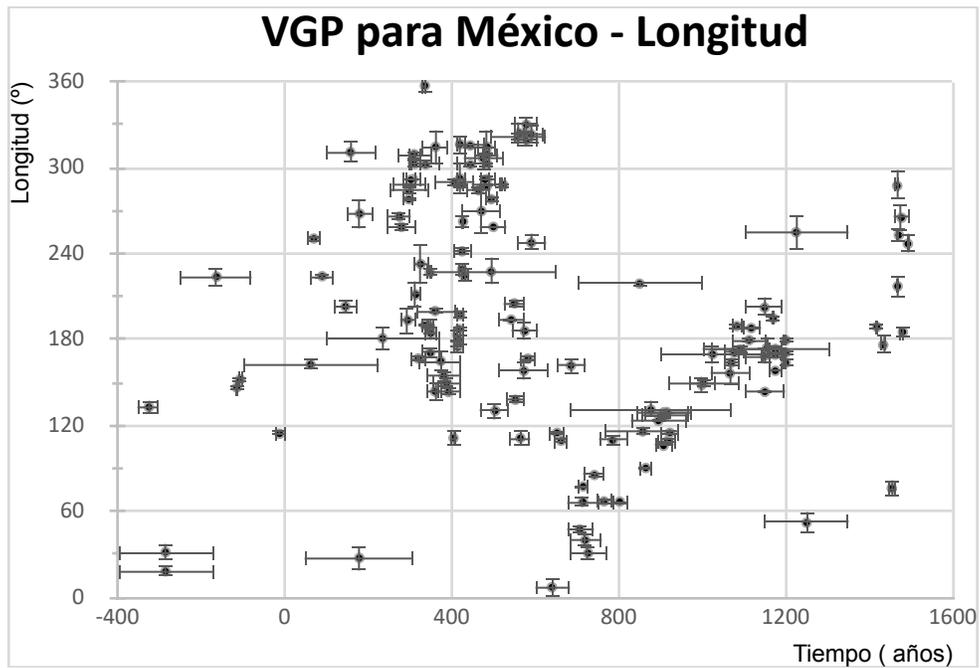
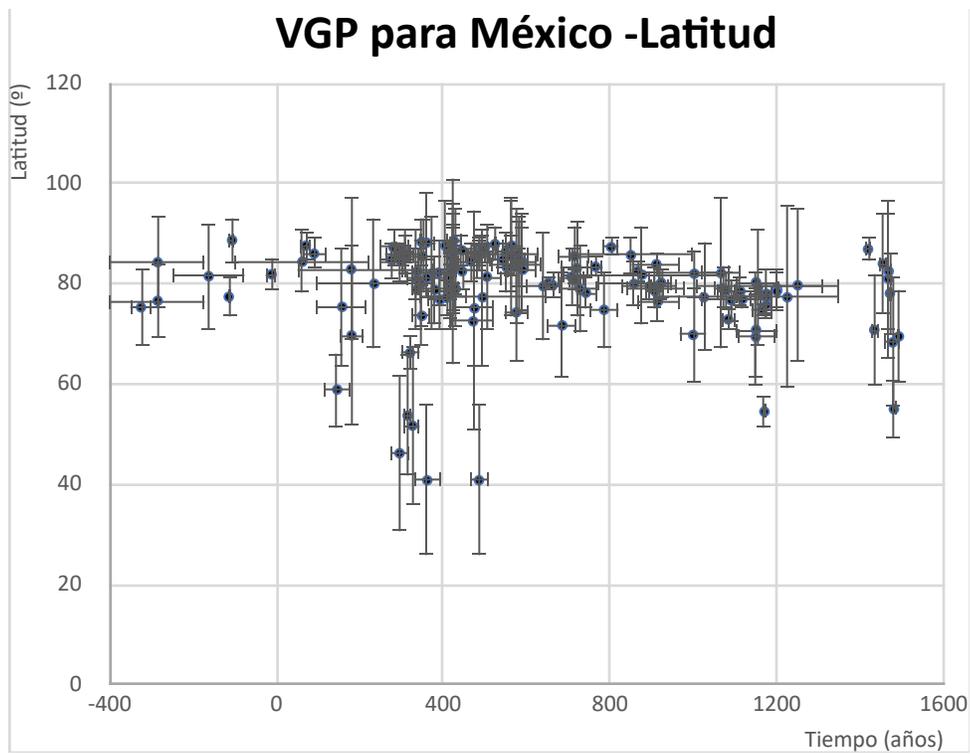


Fig. 3. Latitud y Longitud de los Polos Virtuales para México de muestras arqueomagnéticas a lo largo de 400 aC a 1600 dC (Soler-Arechalde et al., 2019).

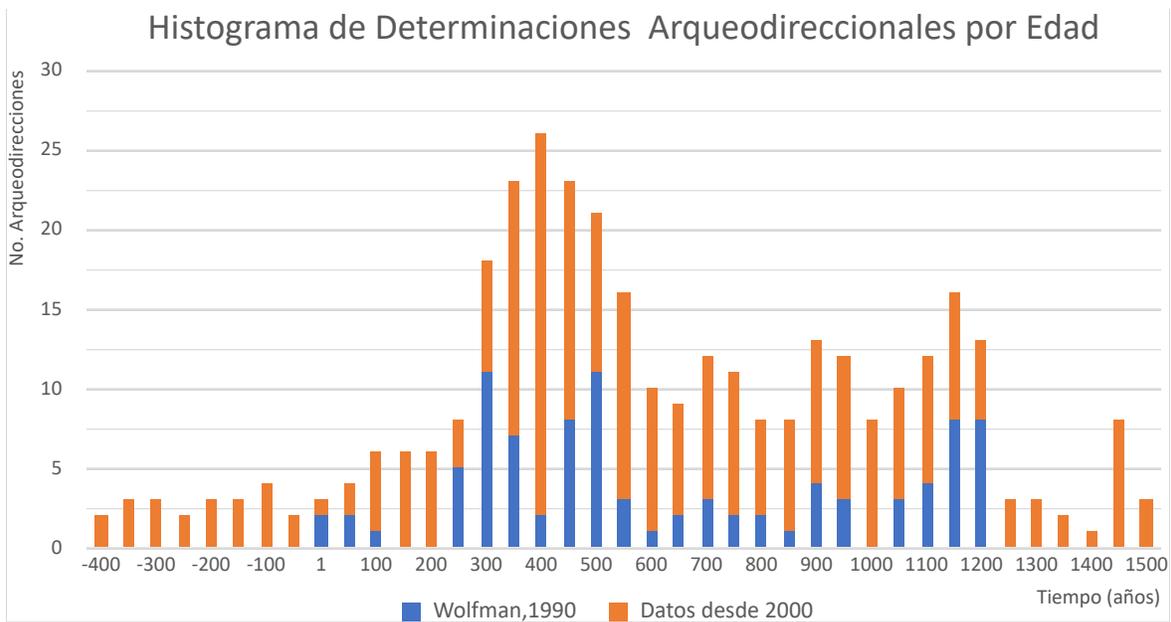


Fig. 4. Histograma de las determinaciones arqueodireccionales por edades para las muestras de estudiadas en sitios de México de 1990 a 2019 (Soler-Arechalde et al., 2019).

Se observa en las gráficas de direcciones (Fig. 3) y en el histograma (Fig. 4) que aún se requiere un mayor número de estudios para el Preclásico entre 400 y 100 aC, el Clásico antes del 400 dC y para el Posclásico entre 1200 y 1500 dC. Además de una cobertura regional de nuestro país es importante apuntar a las ventanas de tiempo pendientes de caracterizar arqueomagnéticamente, buscando además obtener correlaciones con dataciones de radiocarbono para los proyectos arqueológicos donde se emplee el arqueomagnetismo.

Arqueointensidades

El estudio de arqueointensidades en México se retomó en 2006 al emplear técnicas de paleomagnetismo para materiales arqueológicos y la adquisición de equipos e infraestructura principalmente en el campus UNAM-Morelia. El catálogo de determinaciones de arqueointensidad se presenta en la Tabla 2, indicando sitio de estudio, número de muestras, temporalidad y referencia de publicación. Se incluyen las 73 determinaciones de las primeras investigaciones realizadas en los años 60's y 70's, y los trabajos desarrollados actualmente, sumando un total de 225 datos de arqueointensidad.

Tabla 2. Sitios, número de muestras, temporalidad y referencia de publicación de los estudios de arqueointensidad en México.

Sitio arqueológico	# Muestras	Temporalidad	Referencia
Amapa, Nayarit	2	Posclásico	Bucha et al.,1970
Capacha, Colima	6	Preclásico	Morales et al.,2013
Casas Grandes-Mimbres, Chih.	1	Posclásico	Rodriguez Trejo, 2019
Casas Grandes-Ramos, Chih.	1	Posclásico	Rodriguez Trejo, 2019
Cerámicas Galeana, Chihuahua	1	Posclásico	Salgado Saito, 2018
Cerámicas Villa Ahumada, Chih.	1	Posclásico	Salgado Saito, 2018
Chalcatzingo, Morelos	13	Preclásico	Hervé et al 2019b
Comala, Colima	2	Preclásico	Olay et al.,2019
Comala, Colima	5	Clásico	Olay et al.,2019
Comala, Colima	4	Posclásico	Olay et al.,2019
Comitán, Chiapas	1	Preclásico	Lee, 1975
Comitán, Chiapas	3	Posclásico	Lee, 1975
Cuanalan, México	8	Preclásico	Rodriguez et al.,2009
Cuautitlán, México	1	Clásico	Bucha et al.,1970
Cuchilla Sta Rosa Tuxtla, Veracruz	3	Preclásico	Lee, 1975
Cuchilla Sta Rosa Tuxtla, Veracruz	1	Clásico	Lee, 1975
Cuicuilco, Cd. Mx.	2	Preclásico	Nagata et al., 1965
Felipe Carrillo Puerto, Q. Roo	8	Clásico	Lee, 1975
Ichkaantijo, Yucatán	7	Posclásico	Goguitchaichvili et al., 2018c
La Joya, Veracruz	1	Clásico	Hernández Cardona, 2017
La Joya, Veracruz	4	Posclásico	Hernández Cardona, 2017
La Mina, Michoacán	1	Posclásico	Goguitchaichvili et al.,2017b
Morett, Colima	5	Preclásico	Bucha et al.,1970
Morett, Colima	6	Preclásico	Bucha et al.,1970
Ocozautla-La Pantalla, Chiapas	1	Preclásico	Lee, 1975
Ocozocuatla, Chiapas	1	Preclásico	Morales et al., 2009
Ocozocuatla, Chiapas	4	Clásico	Morales et al., 2009
Opeño, Jalisco	14	Posclásico	Pineda et al.,2010

Sitio arqueológico	# Muestras	Temporalidad	Referencia
Palenque, Chiapas	5	Clásico	Fanjat et al.,2012
Playa del Tesoro, Colima	1	Posclásico	Bucha et al.,1970
Playa del Tesoro, Colima	1	Preclásico	Bucha et al.,1970
Playa del Tesoro, Colima	1	Clásico	Bucha et al.,1970
Plaza Gamio, Cd. Mx.	3	Posclásico	Hernández-Cardona, 2017
Plazuelas, Guanajuato	1	Posclásico	Morales et al.,2015
Quiahuiztlan, Veracruz	10	Posclásico	López-Téllez, et al.,2008
Quintana Roo	2	Preclásico	Lee, 1975
San Jose Mogote, Oaxaca	7	Preclásico	Petronille et al.,2012
San Lorenzo, Veracruz	7	Preclásico	Mahgoub et al.,2019b
Sta Clara Ocoyucan, Puebla	15	Posclásico	Lee, 1975
Teotihuacan, México	3	Preclásico	Mahgoub et al.,2019b
Teotihuacan, México	5	Clásico	Mahgoub et al.,2019b
Teotihuacan, México	17	Posclásico	Mahgoub et al.,2019b
Tizapán El Alto, Jalisco	2	Posclásico	Bucha et al.,1970
Tlailotlacan, México	2	Posclásico	Goguitchaichvili et al.,2017a
Tula, Hidalgo	1	Posclásico	Bucha et al.,1970
Tula,Hidalgo	11	Posclásico	Lee, 1975
Tulyehualco, Cd. Mx.	7	Preclásico	Hernández-Cardona, 2017
Tzintzuntzan, Michoacán	4	Clásico	Morales et al.,2013
Xitle, Cd. Mx.	4	Preclásico	Cervantes et al.,2019
Xitle, Cd. Mx.	2	Clásico	Mahgoub et al.,2019a
Xitle, Cd. Mx.	6	Preclásico	Nagata et al., 1965
Xochitecatl-Cacaxtla, Tlaxcala	1	Posclásico	Goguitchaichvili et al.,2018b

Continuación de Tabla 2. Sitios, número de muestras, Temporalidad y referencias de los estudios de arqueointensidad en México.

En la Figura 5 se muestran las determinaciones de arqueointensidades para México respecto a la temporalidad. Se observan un valor medio del campo de 45.12 ± 12.99 mT que corresponde a un VDM de $8.65 \pm 3.15 \times 10^{22}$ Am², valor muy similar al reportado por McElhinny y Senanayake (1982).

Datos de arqueointensidad para México (μ T) respecto a su temporalidad (años)

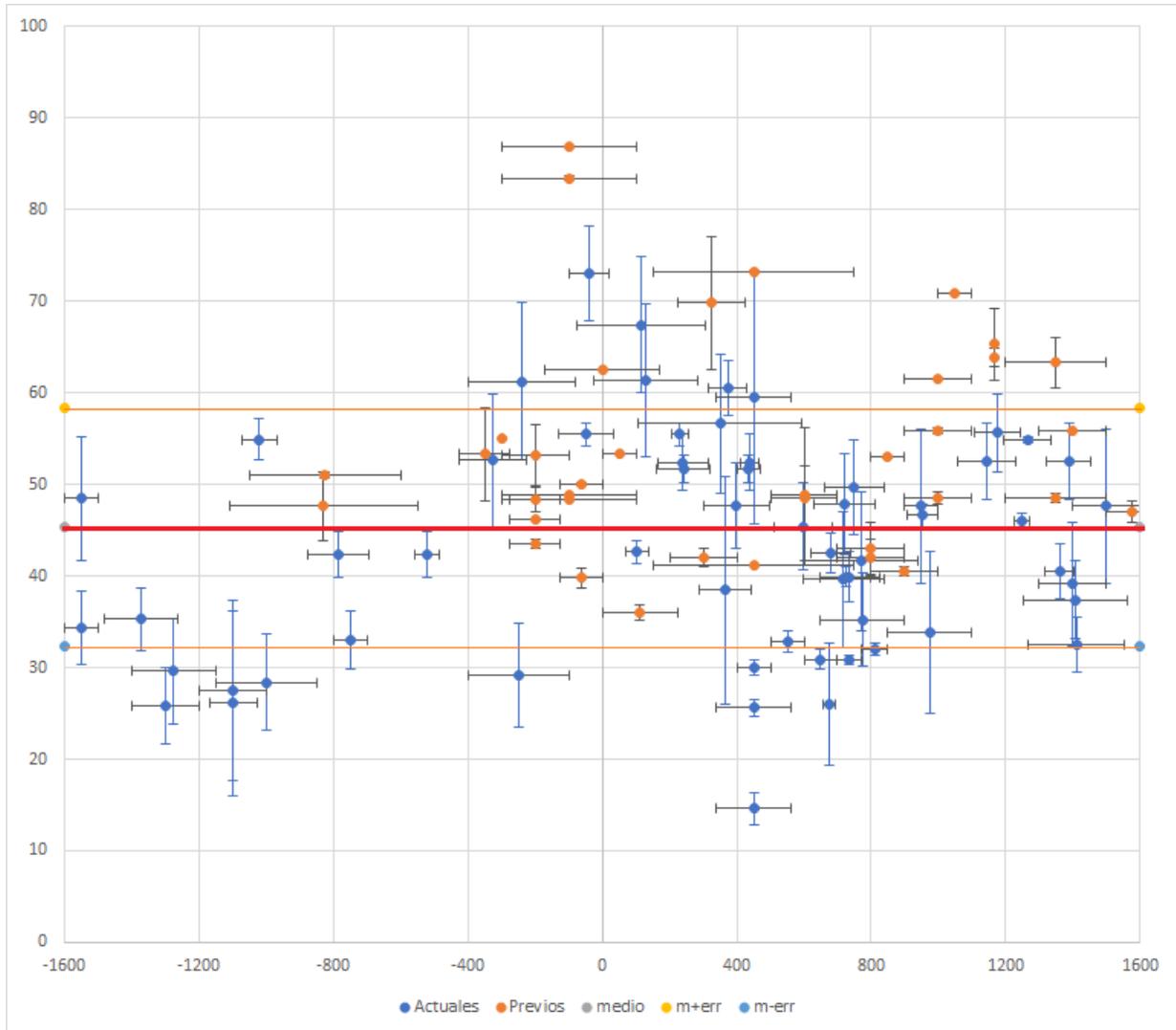


Fig. 5. Distribución de arqueointensidades de sitios prehispánicos de México (Modif. de Goguitchaichvili et al., 2018). Se observan datos de arqueointensidad (μ T) y temporalidad en años. Los “Datos actuales” corresponden a datos obtenidos a partir de 2006 y los “Datos Previos” a trabajos de Nagata, Bucha y Lee.

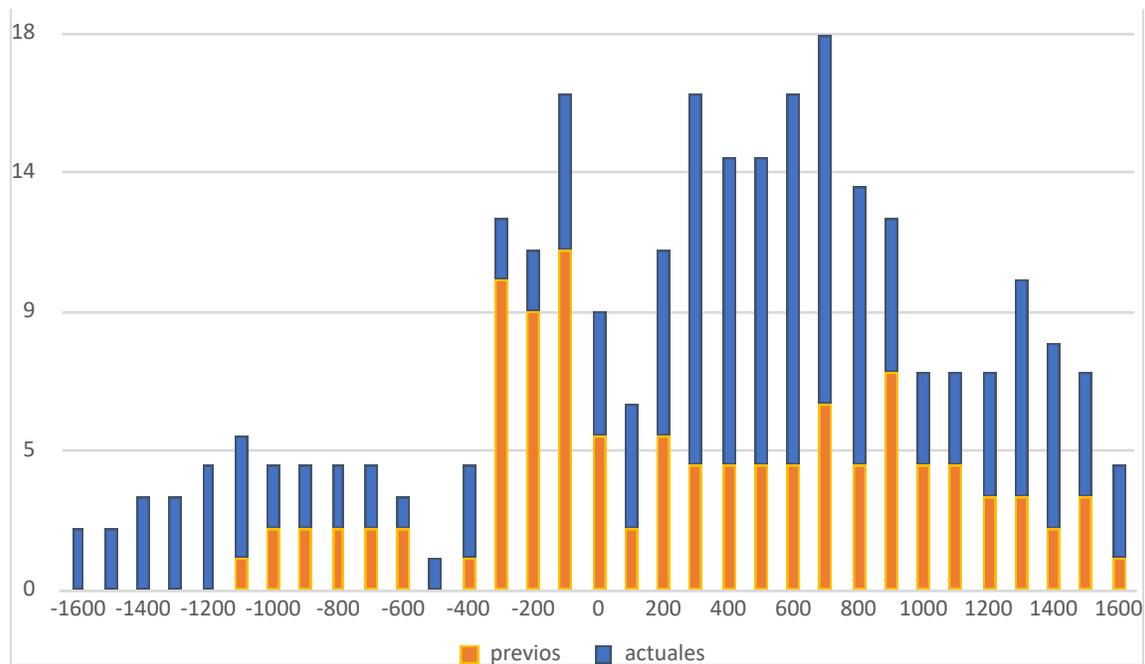


Fig. 6. Histograma de las edades para las muestras de arqueointensidades para México para el período 1965-2019.

En la Figura 6 se muestra el histograma de frecuencia de los datos de arqueointensidad respecto a su temporalidad, en el que se observa un bajo número de datos hacia el periodo Preclásico, 1600 aC al 400 aC., haciéndose necesario orientar futuras investigaciones que aporten nuevos datos en dicha temporalidad. Para los periodos de 100 aC al 200 dc y del 1000 dC al 1600 dC., es deseable incorporar nuevas determinaciones .

En consecuencia al incremento de determinaciones los análisis y tratamientos de datos se han orientado en la construcción de curvas de Variación secular de arqueointensidad para México, los de trabajos de Daly (1996), Böhnnel y Molina (2002), Goguitchaichvili et al., (2018c) , Hervé et al. (2019) y Mahgoub et al. (2019 a y b) muestran diversos métodos de modelación para los datos obtenidos así como otras referencias paleomagnéticas que aportan al registro secular. Mientras más estudios arqueomagnéticos arrojen datos de buena calidad se irá subsanando la resolución actual de las curvas y podrá ampliar su validez a mayores regiones de México.

Debido a que es largo el proceso de construcción de curvas maestras de variación secular geomagnética en este trabajo se emplea la estimación de temporalidad a partir de modelos globales geomagnéticos. Las determinaciones arqueomagnéticas con buenos parámetros de calidad, tanto direccionales como de intensidad, podrán ser factibles para la construcción de la curva de variación secular. Incluso, podrían ser empleados en décadas futuras cuando las curvas de variación sean de aceptable resolución y posiblemente se re-evalúen las temporalidades que actualmente se estiman. Batt et al. (2017) plantearon una revisión y evaluación para generar una nueva curva de variación secular para Reino Unido, obteniendo la mejor resolución de un país con 909 datos arqueomagnéticos en que se basa su curva, que aunado a tratamientos matemáticos les permite tener una curva de variación secular de alta resolución y revisar las dataciones estimadas con curvas y modelos anteriores.

Datos Históricos

Un trabajo de gran interés es el compendio realizado por Goguitchaichvili et al. (2020) de datos geomagnéticos observacionales registrados por navegación marítima que conforman un conjunto de 837 mediciones directas realizadas en los últimos 4 siglos, que impactan positivamente en el número de determinaciones obtenidas experimentalmente. En la Figura 7 se muestran los polos geomagnéticos virtuales VGP direccionales de dicho estudio.

La mayoría de estos datos históricos corresponden a direcciones debido a los instrumentos empleados en navegación, declinación e inclinación fueron medidas con brújula y registrados en anales de navegación desde el siglo XVII, periodo que corresponde a expediciones científicas. Hacia finales del siglo XIX se presentan mediciones de intensidad del campo geomagnético a partir de la fundación del Observatorio Nacional de México, que entre sus objetivos estuvo presente la observación y registro de las variaciones del campo magnético terrestre en nuestro país. En la Fig. 8 se presenta el número de mediciones de componentes vertical y horizontal para la intensidad del campo geomagnético desde 1839 a 1945.

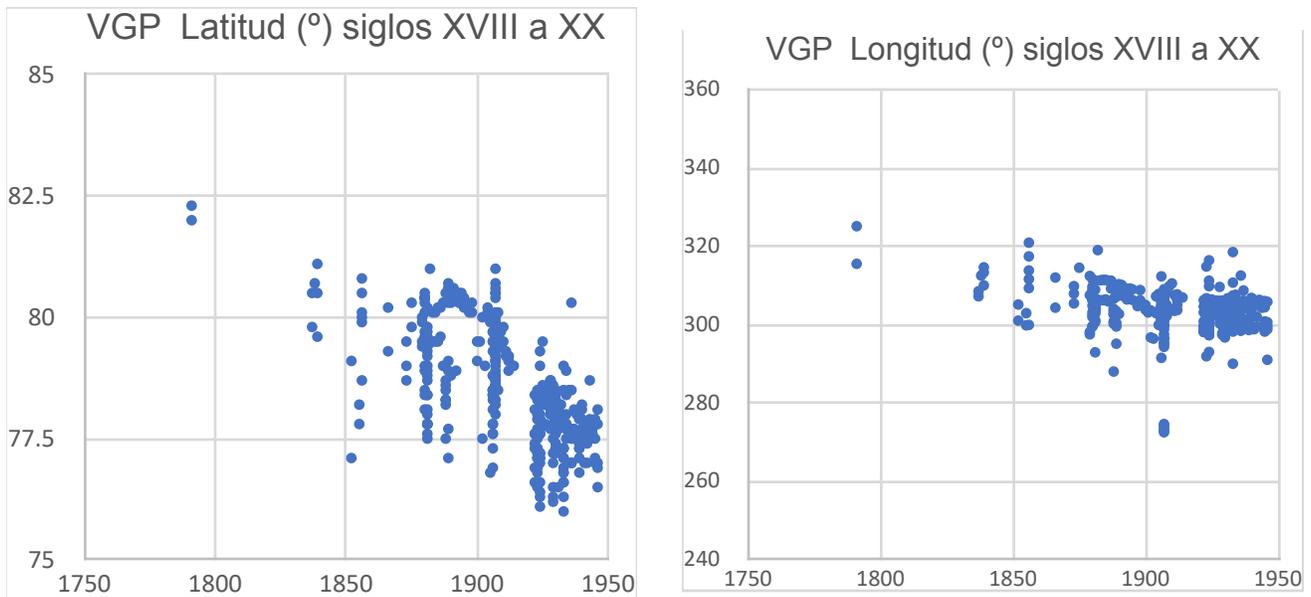


Fig. 7 Latitud y Longitud de los Polos Geomagnéticos Virtuales VGP para México mediante observación directa del año 1750 a 1950 (Modificado de Goguitchaichvili et al., 2020).

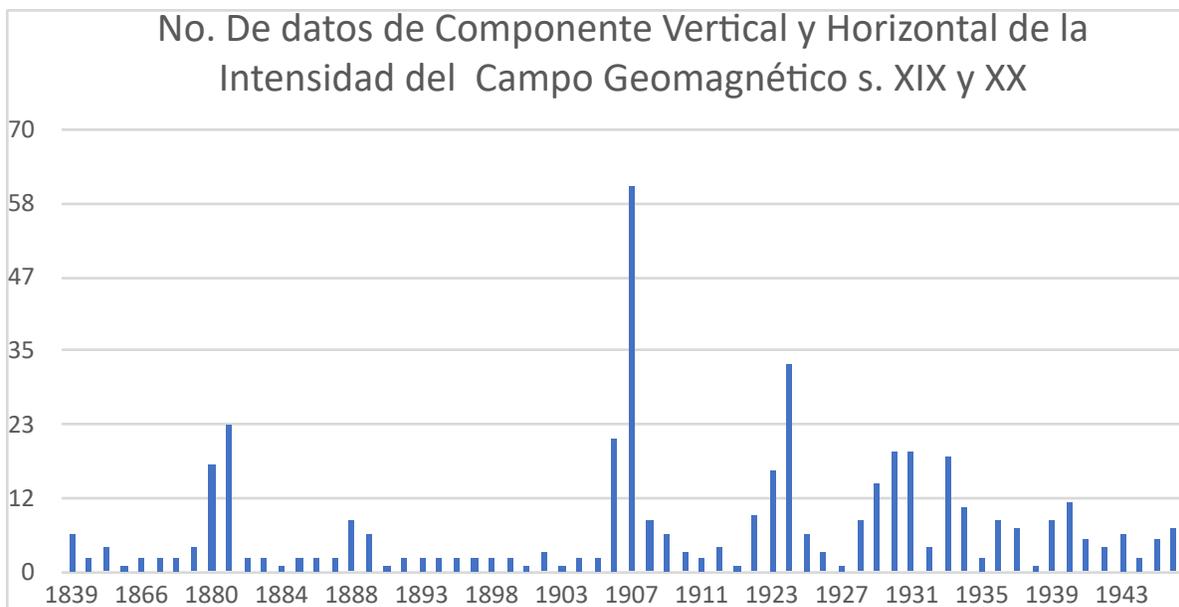


Fig. 8. Histograma de las determinaciones de las dos componentes de la intensidad del campo geomagnético para México desde 1839 a 1946 (Modificado de Goguitchaichvili et al., 2020).

Conclusiones

El desarrollo del arqueomagnetismo en México se manifiesta a la par del crecimiento y esfuerzo de la Universidad Nacional Autónoma de México, desde la creación del Observatorio Nacional, y posteriormente la creación de los Observatorios Geomagnéticos de Teoloyucan y Cueneo, que registran el comportamiento actual y en tiempo real del campo magnético de la Tierra, hasta los laboratorios universitarios de paleo y arqueomagnetismo que investigan con fuentes que caracterizan el pasado del campo.

El número de determinaciones experimentales de dirección e intensidad ha incrementado en los últimos veinte años y seguirá aumentando a través de los proyectos de investigación del Instituto de Geofísica y Posgrados asociados.

La integración de datos históricos observacionales representa la posibilidad de mejorar nuestra comprensión del fenómeno magnético y relaciona estrechamente el estudio del campo actual con el pasado. A partir de este nuevo conjunto de datos se podrán mejorar las curvas de variación secular y con nuevas determinaciones arqueomagnéticas correlacionadas con dataciones de radiocarbono se podrá mejorar el ejercicio arqueométrico de la datación arqueomagnética.

Es de reconocerse la labor realizada en las investigaciones arqueomagnéticas de México descritas y analizar respecto a estas experiencias nos conduce a seguir promoviendo y realizando técnicas arqueomagnéticas en proyectos arqueológicos para avanzar en las construcciones de curvas de variación secular de alta resolución, comprendiendo mejor la naturaleza del campo geomagnético en nuestra región y consolidando un método de datación arqueomagnético útil para investigaciones arqueológicas, geoarqueológicas y geomagnéticas.

A la luz del desarrollo científico mexicano esbozado, este trabajo pretende contribuir con nuevas determinaciones experimentales, tanto direccionales como de intensidad, para sitios arqueológicos sin resultados arqueomagnéticos y que puedan resultar en temporalidades con baja densidad de datos.

Referencias

- Aguilar Parra L. I. y Morales Sánchez R. (2011). Estudio arqueomagnético: Una aplicación a la cronología de la arquitectura de tierra en el sitio "La Joya", Veracruz, Tesis de Arqueología, ENAH.
- Batt, C. M., Brown, M. C., Clelland, S. J., Korte, M., Linford, P. y Outram, Z. (2017). Advances in archaeomagnetic dating in Britain: New data, new approaches and a new calibration curve. *Journal of Archaeological Science* (85) 66-82.
- Beramendi-Orosco, L., Gonzalez-Hernandez, G., Urrutia-Fucugauchi, J., Manzanilla, L. R., Soler-Arechalde, A.M., Goguitchaischvili, A. y Jarboe, N. (2009). High-resolution chronology for the Mesoamerican urban center of Teotihuacan derived from Bayesian statistics of radiocarbon and archaeological data. *Quaternary Research*, 71, Issue 2, 99-107.
- Beramendi-Orosco, L. E., González, G., Soler-Arechalde, A. M., & Manzanilla, L. R. (2012). Cronología para Teopancazco Integración de datos arqueomagnéticos a un modelo bayesiano de radiocarbono. *Estudios arqueométricos del centro de barrio de Teopancazco en Teotihuacan. Mexico: UNAM*, 111-134.
- Beramendi-Orosco, L., Gonzalez-Hernandez, G., Soler-Arechalde, A., & Manzanilla, L. (2020). A high-resolution chronology for the Palatial Complex of Xalla in Teotihuacan, Mexico, combining radiocarbon ages and archaeomagnetic dates in a Bayesian Model. *Radiocarbon*, 1-12.
- Böhnel H. y Molina R. (2002). Secular variation in Mexico during the last 40,000 years. *Phys. Earth Planet.Int.*,133, 99-109.
- Bucha, V., Taylor, R. E., Berger, R. y Haury, E. W. (1970). Geomagnetic intensity: Changes during the past 3000 years in the western hemisphere. *Science*, 168(3927), 111-114.
- Carlson J.B. (1975). Loadstone compass Chinese or Olmec primacy? *Science*, v. 189, pp. 753-760.
- Cejudo, R., García-Ruiz, R., Pelz, A., Goguitchaichvili, A., Morales, J., Cervantes-Solano, M. y Bautista, F. (2019). Intervención arqueomagnética en El Ocote (Aguascalientes, México): Implicaciones cronológicas absolutas. *Arqueología Iberoamericana*. 44 (2019): 3-9. ISSN 1989-4104.
- Cervantes-Solano, M., Cifuentes-Nava, G., Caballero-Miranda, C. I., Goguitchaichvili, A., Morales-Contreras, J., López-Loera, H., Delgado-Granados, H. & Urrutia-Fucugauchi, J. (2019). Estudio magnético integral de flujos de lava del volcán Xitle: implicaciones arqueológicas sobre el abandono de Cuicuilco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(2), 397-411.

Coe, M.D. (1967). Olmec civilization, Veracruz, Mexico: Dating of San Lorenzo Phase, *Science*, 155, pp. 1399-1401.

Daly L y Le Goff M. (1996). An updated and homogeneous world secular variation data base. Smoothing of the Archaeomagnetic results. *Phys.EarthPlanet.Int.*,93.159-190

Delgado Granados, H., Molinero, R., Cervantes, P., Nieto-Obregón, J., Lozano-Santa Cruz, R., Macías-González, H. L., Mendoza-Rosales, C. y Silva-Romo, G. (1998). Geology of Xitle volcano in southern Mexico City -A 2000-year-old monogenetic volcano in an urban area. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 15(2), 2, 115-131.

Fanjat, G., Camps, P., Valdivia, L. A., Sougrati, M. T., Cuevas-Garcia, M., y Perrin, M. (2013). First archeointensity determinations on Maya incense burners from Palenque temples, Mexico: New data to constrain the Mesoamerica secular variation curve. *Earth and Planetary 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.

Goguitchaichvili, A., Morales, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Arechalde, A. M. S., Acosta, G., & Castelleti, J. (2016). The use of pictorial remanent magnetization as a dating tool: state of the art and perspectives. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 8, 15-21.

Goguitchaichvili, A., Ortega, V., Archer, J., Morales, J. y Terán-Guerrero, A. G. (2017a). Absolute geomagnetic intensity record from pre-Columbian pottery dates elite Tlailotlacan Woman in ancient Teotihuacan. *Journal of Archaeological Science: Reports* (14), August 2017, 146-151.

Goguitchaichvili, A., Morales, J., Aguayo Haro, R., Quiroz Castañón, H. Y Robles Camacho, J. (2017b). First evidence of complex dental practice about 1300 BP in Mesoamerica revealed by absolute geomagnetic intensity. *Studia Geophysica et Geodaetica* (61), 310-317.

Goguitchaichvili, A., Torres, G., Cejudo, R., Ortega, V. Archer, J., Calvo-Rathert, M., Morales, J. Y Urrutia-Fucugauchi, J. (2018b). From empirical considerations to absolute ages: How geomagnetic field variation may date Teotihuacan mural paintings. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (284), 10-16.

Goguitchaichvili, A., García-Ruiz, R., Pavón-Carrasco, F. J., Morales, J. J., Soler- Arechalde, A. M. y Urrutia-Fucugauchi, J. (2018c). Last three millennia Earth's Magnetic field strength in Mesoamerica and southern United States: Implications in geomagnetism and archaeology. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. (279), 79-91.

Goguitchaichvili, A., Hernández-Quintero, E., García, R., Cejudo, R., Cifuentes, G., & Cervantes, M. (2020). Fluctuation of the Earth's magnetic field elements in Mexico revealed by archive documents since 1587. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 300, 106433.

Guerrero-Sandoval, X. (2003). Análisis arqueomagnético de estucos del valle de México. Tesis de Física. Fac. Ciencias, UNAM. 31 pp.

Heizer, R. y Bennyhoff, J. (1958). Archaeological investigations of Cuicuilco, Valley of Mexico, 1956. *Science*, 127: 232 - 233.

Heizer, R. y Bennyhoff, J. (1972). Archaeological excavations at Cuicuilco, Mexico, 1957. *Natl. Geogr. Rep.*, 1955 - 1960: 93 - 104.

Hernández Ávila E. R., (2010). Control Cronométrico basado en arqueomagnetismo de Teopancazco, Estado de México, Tesis de Física, Fac. Ciencias, UNAM.

Hernández-Cardona, A. (2017). Variación secular del campo geomagnético de materiales arqueológicos en el Centro de México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Tierra, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. México.

Hervé, G., Perrin, M., Alva-Valdivia, L. M., Rodríguez-Trejo, A., Hernández-Cardona, A., Córdova-Tello, M. y Meza Rodríguez, C. (2019). Secular Variation of the Intensity of the Geomagnetic Field in Mexico During the First Millennium BCE. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* (20), 12, 6066-6077.

Hueda, Y. (2000). Fechamiento arqueomagnéticos de estucos de los sitios de Teopancazco, Teotihuacan y Templo Mayor, Tenochtitlan. Tesis de Licenciatura en Arqueología, ENAH., México, 128 pp.

Hueda-Tanabe, Y., y Soler-Arechalde, A. M. (2001). Fechamiento arqueomagnético de los estucos en los sitios de Teopancazco. *Teotihuacan y Templo Mayor, Tenochtitlán: Mexico, Informe presentado al Consejo de Arqueología del INAH en Agosto de 2001*.

Hueda, Y., A.M. Soler-Arechalde, J. Urrutia-Fucugauchi, L. Barba, L. Manzanilla, M. Rebolledo y. A. Goguitchaishvili, (2004). Arcaheomagnetic studies in central México - dating of Mesoamerican lime-plasters. *Phys. Earth & Planet. Int.* 147, pp. 269-283.

Jimenez Betts, P. F. (2018). Orienting West Mexico: The Mesoamerican World System 200-1200 CE.

- 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, vol. 177, Springer-Verlag, London, pp. 43-82.
- Latham, A.G., Schwarz, H.P. & Ford, D.C.(1986). The paleomagnetism and U-Th dating of Mexican stalagmite, DAS2. *Earth & Planet. Sci. Lett.*, 79, pp. 195-207.
- Lee, S. (1975). Secular variation of the intensity of the geomagnetic field during the past 3000 years in North, Central and South America. Tesis para obtener el grado de Doctor, University of Oklahoma.
- Le Goff, M., Y. Gallet, A. Genevey and N. Warmé. (2002). On Archaeomagnetic secular variation curves and Archaeomagnetic dating. *Phys. Earth. Planet.Inter.*,4160, 1-9.
- López Delgado, V., AM Soler-Arechalde, G. Espinosa-Rodriguez y A. Goguitchaichvili (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., Soler-Arechalde, A. M., Esparza-López, J. R., Goguitchaichvili, A., Caballero-Miranda, C. I. y Morales, J. (2017).Guachimontones de Teuchitlán: Un estudio arqueomagnético para mejorar la cronología del Occidente de México. *Arqueología Iberoamericana*. 33: 27-24. ISSN 1989-4104.
- López-Delgado, V., Goguitchaichvili, A., Torreblanca, C., Cejudo, R., Jimenez, P., Morales, J., & Soler, A. M. (2019). La Quemada: Decline and abandonment in two stages on the classic period northern frontier of Mesoamerica. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24, 574-581.
- López Tellez, J.M., B. Aguilar-Reyes, J. Morales, Goguitchaichvili A., M. Calvo Rathert y J. Urrutia-Fucugauchi (2008). Magnetic characteristics and archeointensity determination on Mesoamerican Pre-Columbian Pottery from Quiahuiztlan, Veracruz, Mexico. *Geof. Int.*,47(4), 329-340.
- McElhinny, M.W. and Senayake W.E. (1982). Variations in the geomagnetic dipole 1: The past 50 000 years. *J. Geomag. Geoelectr.*, 34, pp. 39 - 51.
- Malmstrom, V. (1976). Knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamérica, *Nature*, v. 259, pp. 390-391.
- Mahgoub, A. N., Juárez-Arriaga, E., Böhnell, H., Siebe, C., & Pavón-Carrasco, F. J. (2019a). Late-Quaternary secular variation data from Mexican volcanoes. *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 28-39.

Mahgoub, A. N., Juárez-Arriaga, E., Böhnell, H., Manzanilla, L. R., & Cyphers, A. (2019b). Refined 3600 years palaeointensity curve for Mexico. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 296, 106328.

Martínez-Miranda, V. (2012). TULA -EL TIEMPO PERDIDO- Fechamientos arqueomagnéticos. Tesis de Arqueología ENAH.

McElhinny, M.W. y Senayake (W.E.,1982). Variations in the geomagnetic dipole 1: The past 50 000 years. *J. Geomag. Geoelectr.*, 34, pp. 39 - 51.

Morales, J., Goguitchaichvili A., Acosta G., González-Morán T., Alva-Valdivia L.M., Robles-Camacho J. y Hernández-Bernal M.S., (2009). Magnetic properties and archeointensity determination on Pre-Columbian pottery from Chiapas, Mesoamerica.2009. *Earth Planets Space*,61, 83-91.

Morales, J., Goguitchaichvili A., M.A. Olay-Barrientos, Carvallo, C. y Aguilar-Reyes, B. (2013a). 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, pp. 605-626.

Morales, J., Goguitchaichvili A., Aguilar-Reyes, B., Pineda M., Carvallo, C., L. Beramendi-Orozco, G. González-Hernández y Ontiveros, A. (2013). Rock-magnetic and Archaeointensity Investigation of Pottery and a Burned Floor at the Tzintzuntzan Archaeological Site, Western Mexico. *Geoarchaeology: An International Journal*, 27, 521-537.

Morales, J., Castañeda, C., García, E. C., & Goguitchaishvili, A. (2015). Nuevas evidencias sobre la edad de abandono del sitio arqueológico Plazuelas (Guanajuato, México) mediante la datación arqueomagnética de un piso quemado. *Arqueología Iberoamericana*, 7(28), 40-45.

Nagata, T., Kobayashi, K. and Schwarz, E.J., (1965). Archeomagnetic intensity studies of South and Central America. *Jour. Geomag. and Geoelec.*, v. 17, no. 3-4, pp. 399-405.

Noel, M. and Batt.C., (1990). A method for correcting geographically separated remanence directions for the purpose of Archaeomagnetic dating. *Geophys. J. Int.*,102. P.753-756

Olay-Barrientos, M. A., Sánchez-Morton, L. S., Gogichaishvili, A. Y Morales, J. (2019). El Valle de Colima: nuevas dataciones arqueomagnéticas para el periodo Clásico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 71, No. 2, 413-428. ISSN 1405-3322

Petronille, M., Goguitchaichvili A., Morales J., Carvallo, C. and Hueda-Tanabe Y. (2012). Absolute geomagnetic intensity determinations on Formative potsherds (1400-700 BC) from the Oaxaca Valley, Southwestern Mexico. *Quarter.Res.*,78, Iss.3,442-453.

Pimentel, A. G., Goguitchaichvili, A., Torreblanca, C., Ruiz, R. C., Kravchinsky, V., García, R., ... & Cervantes, M. (2020). The memory of fire in El Coporo (Northern Mesoamerica): Apogee and abandonment. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30, 102274.

Pineda, M., Goguitchaichvili A., Morales J., Aguilar-Reyes, B., Alva-Valdivia, L.M., Ontiveros-Morales, Calvo-Rathert,M., González-Morán, T., and 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 de Física, Fac. Ciencias, UNAM. 64 pp.

Rodríguez Ceja, M., Goguitchaichvili A., Morales, J., Ostrooumov,M., Manzanilla, L.R., Aguilar-Reyes, B. and 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.

Rodríguez Trejo, A. (2019). Registro de variación paleosecular del campo geomagnético en materiales volcánicos y arqueológicos en México. Tesis para obtener el grado de Doctor, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. México.

Romero Hernández, E., (2008). Fechamientos Arqueomagnéticos de pisos con control estratigráfico de la excavación Teopanazgo 2005. Teotihuacan. Física, Fac. de Ciencias.

Saavedra Cortes, S. P., (2010). Estudio arqueomagnético en el área de Tecamac, Estado de México, Tesis de Física, Fac. Ciencias, UNAM.

Salgado Saito, M. M. (2018). Variación secular del campo geomagnético registrada en cerámicas del norte del estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Siebe, C. (2000). Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico. *Jour. Volc. Geot.Res.*, 104, 45-64.

Soler-Arechalde, A. M., Sánchez F., Rodríguez, M., Caballero-Miranda, C., Goguitchaishvili, A., Urrutia-Fucugauchi, J., Manzanilla, L. y Tarling, D.H. (2006 a). Archaeomagnetic investigation

of oriented pre-Columbian lime-plasters from Teotihuacan, Mesoamerica. *Earth Planets Space*, Vol. 58 (No. 10), pp. 1433-1439

Soler-Arechalde, A.M. (2006 b). Investigaciones arqueomagnéticas en México. Fundamentos. Historia y Futuro. Monografías del Instituto de Geofísica No. 10. UNAM, México. ISBN 9703241239, 9789703241231.

Soler-Arechalde, A.M. y Hueda-Tanabe, Y., (2006c). Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco Temporada 2000 Revisión.

Soler-Arechalde, A.M., (2006d). Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco Temporada 2004.

Soler-Arechalde, A.M., Orea, A. y Caballero Miranda, C. (2008a). Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco 2007.

Soler-Arechalde, A.M., y Miranda, C. (2008b). Reporte de Fechamiento Arqueomagnético. Xochicalco 2006.

Soler-Arechalde, A.M. (2012a). Reporte de datación Arqueomagnética de Fernández Leal, Coyoacán, DF.

Soler-Arechalde, A.M., Barrera, A., y Morales, (2012). Reporte de datación Arqueomagnética de Templo Mayor, Ciudad de México.

Soler-Arechalde, A.M., Barrera, A. Martínez Longoria, A., (2013a). Reporte de Datación Arqueomagnética Templo de la Inmaculada Concepción, Coyoacán, DF.

Soler-Arechalde, A.M., Osete-López, M.L., López-Delgado, V., Goguitchaichvili, A., Barrera-Huerta, A., (2019). An updated catalog of pre-hispanic archaeomagnetic data for north and central Mesoamerica: Implications for the regional paleo secular variation reference curve. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* Vol. 71, 2, p. 497-518.

Terán-Guerrero, A. G., Soler-Arechalde, A.M., Goguitchaishvili, A., Caballero-Miranda, C. I., Morales, J. y Urrutia-Fucugauchi, J. (2016). Dataciones arqueomagnéticas en la ciudadela de Teotihuacan, Sierra de las Navajas y Xalasco. *Arqueología Iberoamericana*, 8(29), 15-20.

Urrutia-Fucugauchi, J. (1975). Investigaciones paleomagnéticas y arqueomagnéticas en México. *Anales Instituto de Geofísica*, 21, 27-34.

Urrutia, J., Maupome, L. and Brosche, P.,(1981). Archaeomagnetic research programme , I. An introduction to the knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamerica. Int. Rep., Inst. Geofis., UNAM, Mexico & Obs. Hoher List der Univ. Sternwarte, Bonn, Germany, 25 pp.

Urrutia, J., Maupome, L. and Brosche, P., (1986). El compás magnético en China y Mesoamérica. Bol. GEOS, v. 6, no.3, pp. 5-7.

Urrutia, J., (1996). Palaeomagnetic study of the Xitle-Pedregal de San Angel lava flow, southern Basin of México. Phys. Earth and Planet. Int. vol. 97, Ed. Elsevier Science, Amsterdam, pp.177-196.

Wolfman, D. (1973). A re-evaluation of Mesoamerican chronology : AD 1-1200. Tesis de Doctorado, Colorado University, 293 pp.

Wolfman, D. (1990). Mesoamerican chronology and archaeomagnetic dating, AD 1-1200. Eghmy, J.L. y R.S. Sternberg editors. Archaeomagnetic dating. University of Arizona Press, Tucson.

CAPÍTULO 3

De Chupícuaro al Despoblamiento de la Frontera Septentrional. Evidencia arqueomagnética desde el sitio Lo De Juárez (Guanajuato, México)

Resumen

Los estudios arqueomagnéticos durante la última década han mostrado que datación arqueomagnética puede ser una herramienta valiosa para reconstruir cronologías del estudio de estructuras expuestas al fuego. A pesar de los importantes trabajos con innumerables hallazgos y su gran impacto regional, la cronología de sitios arqueológicos del estado de Guanajuato, está soportada por escasas dataciones como radiocarbono. El salvamento arqueológico realizado en el municipio de Irapuato, Guanajuato, ofreció oportunidad de analizar un fogón y un horno perfectamente conservados, que son excelentes medios para el registro del Campo Magnético Terrestre al momento de su último uso. Los experimentos arqueomagnéticos realizados incluyen: determinación de ciclos de histéresis, adquisición de la magnetización remanente isothermal, curvas termomagnéticas continuas, desmagnetización por campos alternos y determinación de las intensidades geomagnéticas absolutas. El resultado de la datación arqueomagnética para el fogón arrojó un intervalo de tiempo entre 973 y 1204 d.C. como la mejor estimación de temporalidad de último uso, lo que corresponde al Posclásico Temprano. En cambio, la datación del horno, con evidencia de calizas, proporcionó un intervalo entre 36 bC. y 40 aC., correspondiente a las etapas Interfase y Mixtlán del Formativo Superior. Lo anterior podría corroborar la existencia de reportes de cerámica de estilo Chupícuaro cerca del área. Estos datos abren un nuevo panorama en el estudio de las ocupaciones más tempranas y del Posclásico Temprano que se dieron en este sector del Bajío y abren nuevas interrogantes en torno a la ocupación de la población prehispánica regional y en torno a las formaciones sociales que habitaron el Guanajuato prehispánico, en específico, en la Cuenca del río Guanajuato.

Palabras claves: Arqueomagnetismo, Guanajuato, Chupícuaro, Tradición Bajío, Datación Absoluta, Gearqueología Regional.

Abstract

Significant progress in archeomagnetic studies over the past decade suggests that magnetic dating may be a valuable tool for reconstructing chronologies of burned structures. Despite important works with innumerable findings of great regional impact, the absolute chronology of archaeological sites in the state of Guanajuato is supported by few reliable data. The archaeological rescue intervention carried out in the municipality of Irapuato, Guanajuato, offered a unique opportunity to analyze a perfectly preserved stove and oven, considered to be excellent means of recording the Earth's Magnetic Field at the time of its last use. The magnetic experiments carried out included: determination of hysteresis cycles, acquisition of the remanent isothermal magnetization, continuous thermomagnetic curves, demagnetization by alternate fields and determination of the absolute geomagnetic intensities. The result of archeomagnetic dating for the stove showed an interval of time between AD 973 and 1204. Instead, the dating of the kiln with evidence of limestone provided an age interval between 36 B.C. and AD 40. These data open a new panorama in the study of the earliest occupations that occurred in this sector of the Bajío. Despite the existence of reports of Chupícuaro-style ceramics near the area, there are no supported absolute dates that corroborate these new dates of occupation. When locating the obtained results with the chronologies, it seems that the Lo de Juárez site is contemporaneous to the Mixtlán and so-called Interphase phases. At the same time, the stove is located in the early post-classic period. These new absolute chronological contributions open new questions regarding the occupation phases of the regional pre-Hispanic population, specifically, the Guanajuato River Basin.

Key Words: Archaeomagnetism, Guanajuato, Chupicuaro, Bajio Tradition, Absolute Dating, Regional Geoarchaeology.

Introducción

La datación arqueomagnética se basa en dos fenómenos físicos. Uno, que el campo magnético de la Tierra cambia lentamente en escalas de tiempo que varían de decenas a miles de años (variación paleosecular). Estos cambios son tanto en dirección como en intensidad, no son constantes en el tiempo y varían a escala regional en todo el mundo. Cuando éstos se documentan con precisión, proporcionan tres curvas de variación temporal en declinación, en inclinación y en intensidad. Los materiales de arcilla cocida (principalmente) a menudo contienen pequeñas cantidades de óxidos de hierro y de titanio que tienen el potencial de registrar la dirección e intensidad del campo magnético de la Tierra. La comparación directa, entre el registro magnético recuperado de los artefactos arqueológicos quemados y las curvas de variación secular, constituyen una herramienta para la datación de la última exposición al fuego (en caso de hornos su último uso) del material estudiado.

Un importante avance en los estudios arqueomagnéticos durante la última década, sugiere que, la datación arqueomagnética puede ser una valiosa herramienta para reconstruir cronologías mediante el uso de materiales quemados (Carrancho et al. 2005). La contribución de esta técnica de datación a la investigación arqueológica y a la validación del patrimonio cultural es aún más importante. Hoy en día, la rápida expansión económica con cambios en el uso del suelo implica inevitablemente la destrucción de sitios arqueológicos y la pérdida de registros irremplazables. En el caso de las excavaciones de rescate, el arqueomagnetismo puede ser una pertinente herramienta de datación de materiales expuestos al fuego, particularmente, cuando los hallazgos arqueológicos no incluyen objetos de diagnóstico que por su estilo puedan asociarse a una temporalidad o a la presencia de materiales adecuados para otras técnicas de datación como el radiocarbono o dendrocronología.

Los estudios arqueomagnéticos en México se concentran principalmente en Teotihuacán y área Maya, en los sitios de Bajío y en particular para el estado de Guanajuato existen grandes intervalos de tiempo sin datos y de ahí cronologías detalladas. El salvamento arqueológico realizado en el municipio de Irapuato, Guanajuato, ofreció una singular oportunidad de analizar un fogón y un horno en buen estado de conservación,

excelentes materiales para el registro del Campo Magnético Terrestre al momento de su último uso.

Arqueología del Bajío y la Cuenca del Río Guanajuato

A partir de las investigaciones sistemáticas conducidas desde los años 50, la arqueología de Guanajuato era sinónimo de Chupícuaro (500 a.C. a 250 d.C.) (García, 2003; Darras y Faugère, 2017). Posteriormente se lograron identificar la denominada fase Morales en la sección sur del río Laja, en el municipio de Comonfort por Brannif (1998) en la década de los setenta y una densa ocupación de todo el Bajío, a la que Cárdenas (1999) definió como Tradición Bajío (400 a 900 d.C.). A éstas siguió la etapa Desplazamiento de la frontera septentrional (900 a 1300 d.C.), durante el Posclásico Temprano. Finalmente se reconoce una última etapa relacionada con la cultura purépecha (Cárdenas, 1999), que está presente hasta el momento de la conquista española.

Las dataciones obtenidas en las últimas tres décadas, en torno al poblamiento prehispánico en el actual estado de Guanajuato, ha permitido conocer que éste ocurre a partir del Formativo Superior, corresponde a la denominada Tradición Chupícuaro asentada en el valle de Acámbaro, al sur de Guanajuato y cuyo margen temporal se ha establecido entre 600/500 y el 100 a.C. (Darras y Faugère, 2007). De acuerdo con las autoras, dicha población prehispánica habría de tener presencia en momentos identificados como fase Chupícuaro Temprano (600/500-400 a. C.), Fase Chupícuaro Reciente (400-100 a. C.), Fase C. Reciente 1 (400-200 a. C.), Fase C. Reciente 2 (200-100 a. C.), Interfase (100-1 a. C.) y Fase Mixtlán (1-250 d. C.). La tradición Chupícuaro es reconocida por la gran calidad y variedad de sus piezas cerámicas, y por ser uno de los desarrollos más tempranos y significativos del Occidente.

Posterior a la Tradición Chupícuaro (Faugère y Darras, 2017, 2018) se han identificado algunas ocupaciones en el propio valle de Acámbaro, como también en una amplia geografía del Bajío. La fase Mixtlán se caracteriza por la reocupación de sitios Chupícuaro por grupos herederos de dicha tradición, que llevan consigo nuevos elementos culturales entre los que sobresalen las navajillas prismáticas de obsidiana verde identi-

cada en el Cerro de las Navajas, cerca de la actual ciudad de Pachuca, Hidalgo, como también por el uso de patios hundidos cuadrangulares en la arquitectura pública.

La fase Morales identificada en la cuenca del río Laja por Braniff (1998) representa otra de las ocupaciones posteriores a Chupícuaro ya que, siguen conservando semejanzas con el estilo cerámico del grupo primigenio. De acuerdo con la autora, las vasijas de este sitio se pueden correlacionar con la fase Mixtlán, lo que implicaría una cronología similar. Por su parte, Zepeda y Barrales (2008) plantean que estos grupos se extenderían hacia otras regiones siguiendo la trayectoria del río Lerma y sus principales afluentes “sentando las bases ideológicas y materiales para el posterior desarrollo de la tradición cultural del Bajío”.

En la década de los años 80 al iniciarse el proyecto del Atlas Arqueológico Nacional se registran en el estado de Guanajuato más de medio millar de sitios. Este corpus de información sería la base para que Cárdenas (1999, 2011, 2017) propusiera a la región del Bajío como un área cultural particular en donde se desarrolló la Tradición Bajío, etapa de mayor auge poblacional y político, reconocida por el uso de patios hundidos como eje constructivo de los numerosos sitios que componen diversas regiones políticas (Cárdenas, 1999). El inicio de esta ocupación, se ha propuesto hacia 400 d.C., siendo en el sector poniente del Bajío, donde se han identificado las ocupaciones más tempranas como en los sitios de Cerrito de Jerez y Cañada de Alfaro; en este último Zubrow reporta dataciones de 100 d.C. (Cárdenas, 2017).

Hacia el 600 d.C., se daría la máxima expansión territorial y la diversificación de edificios con patios hundidos. Desde un análisis geopolítico de la Mesoamérica prehispánica, planteamos que dichas reconfiguraciones sociales guardan relación con el resto de las reconfiguraciones políticas que se presentaron en otros centros políticos mesoamericanos, este período es identificado como Clásico Tardío. Para el 900 d.C. comenzaría un abandono paulatino y masivo de los grupos que conformaban esta tradición, posiblemente por causas ambientales (Cárdenas, 2017). Con lo cual se daría paso al período posclásico con los momentos de Despoblamiento de la frontera septentrional (900 a 1300 d.C.) y la etapa de cultura purépecha.

El área correspondiente a la cuenca del río Guanajuato cuenta con algunas investigaciones, que han permitido elaborar propuestas para explicar la relación entre la antigüedad de sus habitantes y la estructura sociopolítica en la que estaban inmersos. Cabe referir, que una buena parte de dicha información deriva de inspecciones y recorridos de superficie, lo que implica que muchos datos no están situados en excavaciones controladas que permitan obtener dataciones absolutas. Aún con esta limitante, se han realizado propuestas basadas principalmente en el análisis de material cerámico, estilos arquitectónicos y patrón de asentamiento.

Un ejemplo de ello es “Río Guanajuato como Unidad Político-Territorial”, donde Flores y Cruces (1999) mediante el recorrido por los sitios registrados del área y la correlación del material de superficie y los diseños arquitectónicos, sugieren que los asentamientos pertenecen al horizonte Clásico. Los autores enfatizan que los sitios menores pertenecían al área de influencia del Sitio Cerro del Sombrero, ubicado al norte de la presa La Purísima, los cuales conformaron una unidad político territorial. El sitio referido se ubica en las faldas y cima del cerro de nombre homónimo, en la confluencia del río Guanajuato y arroyo La Trinidad. Está compuesto por una serie de terrazas que soportan plataformas con basamentos piramidales y patios hundidos. En la cima se han identificado una serie de petrograbados (Uribe, 1978; Rodríguez, 1978). De acuerdo a Castañeda (1993) el sitio estaría ocupado entre 600 y 900 d.C. y conformaría uno de los 4 sitios hegemónicos identificados en el área (Meave, 2010).

Los sitios Hacienda de Guadalupe y San José de Llanos, ubicados en las inmediaciones del río, también son mencionados por Cárdenas (1999) como pertenecientes a la Tradición Bajío, se encuentran dentro de la región política de Loza de los Padres y, por tanto, enmarcados en el horizonte Clásico mesoamericano.

Anterior a la ocupación del Clásico en esta región, es muy poco lo que se conoce sobre sus habitantes, algunos reportes indican una presencia de grupos emparentados con Chupícuaro, como el de las cercanías del poblado de Trejo, actual municipio de Silao (Flores y Cruces, 1999) y el de las cercanías de la comunidad El Carmen, hacía el sur de la ciudad de Irapuato, Castañeda (1995:4) donde se reporta la presencia de materiales cerámicos asociados a Chupícuaro.

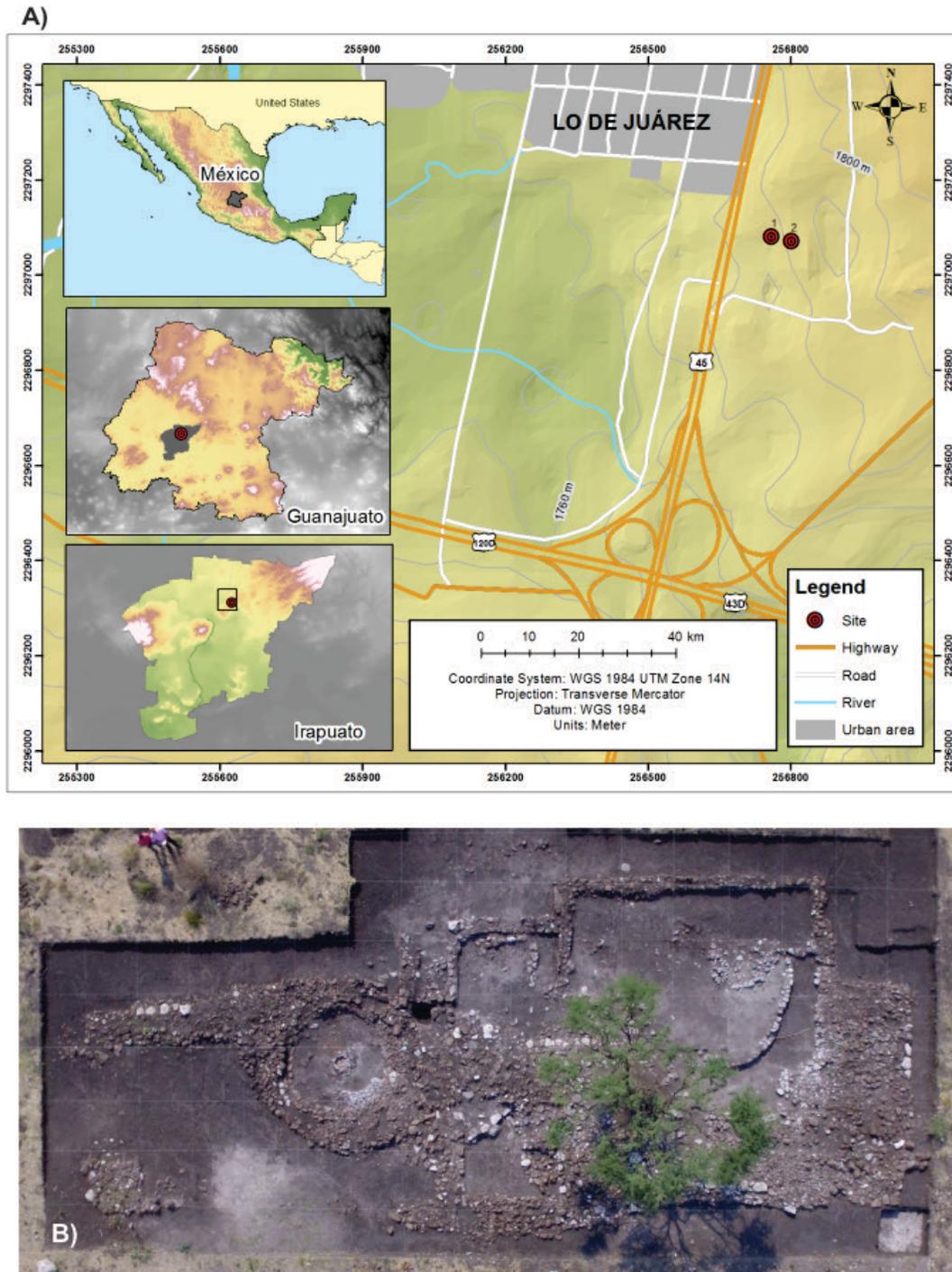


Figura 1. Mapa esquemático del área de Lo de Juárez que muestra la ubicación de los hornos analizados. También se muestra la fotografía aérea del sitio arqueológico.

A pesar de importantes trabajos arqueológicos con innumerables hallazgos de gran impacto regional, la cronología absoluta está soportada por pocos datos. El salvamento arqueológico realizado en el municipio de Irapuato, Guanajuato ofreció una singular oportunidad de analizar un fogón y un horno *In Situ*, bien conservados y por tanto excelentes medios de registro de Campo Magnético Terrestre al momento de su último uso (Figura 2). La excavación fue realizada por personal del Centro INAH Guanajuato debido a la construcción de un parque industrial.

El sitio arqueológico Lo de Juárez y Detalle de Muestreo

El espacio correspondiente al sitio arqueológico Lo de Juárez se localiza a un lado de la comunidad Loma de Juárez, a seis kilómetros al norte de la ciudad de Irapuato (Figura 1) y a un costado de la Carretera Federal 45, dentro del corredor industrial de Guanajuato, que abarca los municipios de León, Silao, Irapuato, Salamanca, Celaya, Apaseo el Alto y Apaseo el Grande. La descripción del contexto en extenso realizó Morales (2020).

En el sitio arqueológico se encuentra una unidad habitacional, registrada como Estructura 1 y otro espacio denotado como Estructura 2. Dentro de la Estructura 1 se excavó una estructura circular, identificada como cocina, que tiene un fogón central compuesto por rocas basálticas, (Estructura 1, Figuras 1b y 2) con un diámetro de 50 cm. Algunas de las rocas que componían dicho elemento, tenían un recubrimiento de barro de tonalidad café claro. En la Estructura 1 se registraron elementos arquitectónicos, que la caracterizan como una unidad habitacional. También, se identificaron una decena de entierros humanos y se recuperó una considerable muestra de material arqueológico, que permite ahondar en el estudio del grupo que habitó estos espacios.

Durante la excavación de la Estructura 2, se trabajó bajo la hipótesis de que ésta conformaba un mismo conjunto arquitectónico con la Estructura 1, pero se descartó, ya que no se registró material prehispánico en ninguna de sus capas. Para el estudio de la Estructura 2 se realizó una cala de aproximación de 2 por 7 metros en la sección oeste de la elevación.



Figura 2. Vista general del fogón de piedra dentro de la estructura circular 1.



Figura 3. Vista general del horno (muy probablemente para la producción de cal) dentro de la estructura 2.

A 1.30 m de profundidad se identificó un alineamiento circular, con rocas basálticas careadas dispuestas sobre un estrato de caliza que había sido modificado culturalmente. La caliza presenta una oquedad conformándose un ángulo cóncavo, en su

parte superior y una base plana, donde se acomodaron rocas basálticas careadas unidas por una argamasa de barro cocido de tonalidad naranja (Figura 3). Lo anterior plantea hipótesis sobre otro tipo de uso para este horno, con algunas similitudes a los hallazgos reportados en el norte de la Península de Yucatán de hornos de producción de cal (Ortiz et al., 2015). Sin embargo, el potencial uso de este elemento de combustión no está del todo claro, ya que no se identificó cerámica prehispánica, ni colonial que permitiera inferir este proceso.

Procedimientos de Laboratorio

Con el objetivo de obtener la dirección de las magnetizaciones características, sus minerales portadores y poder seleccionar las muestras con mayor probabilidad para la determinación de la intensidad absoluta se realizaron desmagnetizaciones graduales con el uso de campos alternos crecientes, experimentos de magnetismo de rocas como: el registro de la magnetización inducida de saturación contra la temperatura (curvas termomagnéticas continuas), ciclos de histéresis y la adquisición de curvas de magnetización remanente isothermal con una Balanza de Curie (*Variable Field Translation Balance*). Con lo anterior se determinaron minerales portadores de la magnetización, como también la selección de las muestras con mayor probabilidad para determinar la intensidad absoluta del campo geomagnético. Las mediciones sistemáticas de la magnetización remanente se realizaron con magnetómetros de giro (*spinner*) JR6 de AGICO y los tratamientos de campos alternos con un desmagnetizador LDA-3.

Los experimentos de intensidad absoluta (paleointensidad) se llevaron a cabo utilizando el método de doble calentamiento de Thellier (Thellier y Thellier, 1959) revisado por Coe et al. (1978) en un horno con bobinas de marca ASC TD48. Las mediciones se realizaron en 15 pasos, entre la temperatura ambiente y 575 ° C. Se acoplaron calentamientos de control en 5 ocasiones (llamados chequeos *pTRM*) a lo largo de los experimentos.

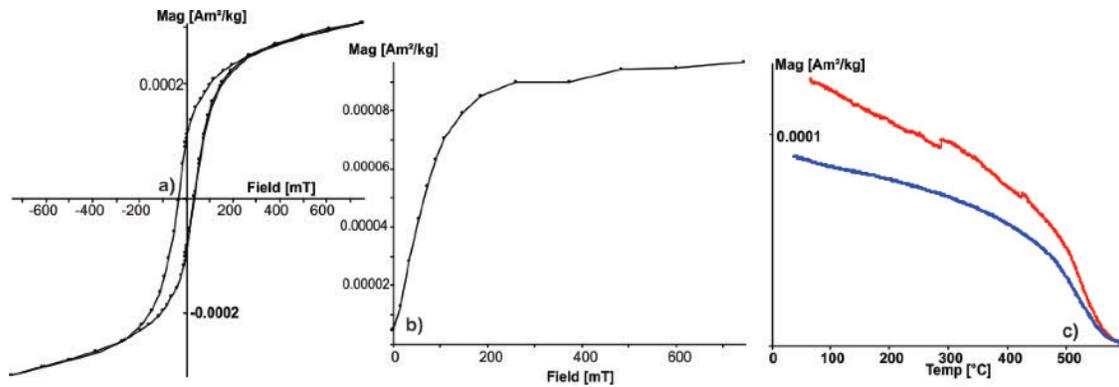


Figura 4. Resumen de los experimentos de mineralogía magnética que incluyen a) ciclo de histéresis, b) curva de adquisición de remanencia isothermal asociada y c) registro termomagnético continuo.

Principales Resultados

Las propiedades magnéticas de las muestras seleccionadas del fogón y el horno para los experimentos de arqueointensidad, se muestran en la Figura 4: ciclos de histéresis y las curvas de adquisición de magnetización remanente isothermal (IRM por sus siglas en inglés), con un campo aplicado máximo de aproximadamente 0.8 T. Con campos aplicados de alrededor 250 mT, se alcanzó más del 90% de la magnetización de saturación (SIRM por sus siglas en inglés). Los parámetros derivados de los ciclos de histéresis se relacionan al estado de dominio magnético pseudo-sencillo. Alternativamente, este mismo comportamiento podría explicarse por una mezcla de partículas de dominio sencillo (SD) y multidominio (MD) (Day et al., 1977; Dunlop, 2002). Las curvas de magnetización de saturación inducida en función de la temperatura, que son razonablemente reversibles, presentan una sola fase ferrimagnética correspondiente a la temperatura de Curie, entre 565 y 575 ° C, lo que indica magnetita pura o a su defecto de la titanomagnetita pobre en titanio.

La mayoría de los especímenes provenientes del horno (Estructura 2) muestran una única componente de magnetización (Figura 5, parte inferior) entre 0 y hasta 90 mT.

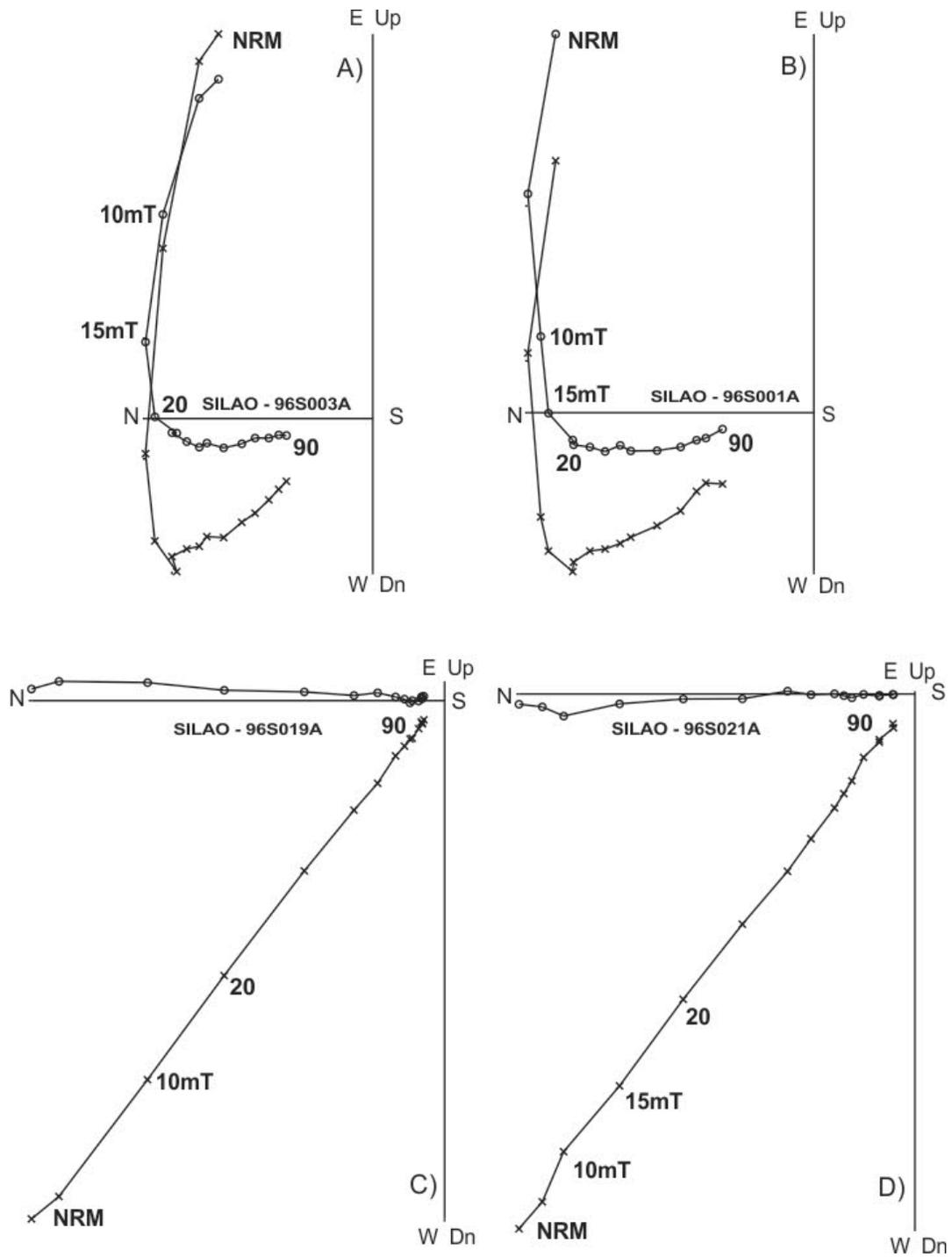


Figura 5. Ejemplos representativos de gráficos vectoriales ortogonales que ilustran los tratamientos por campos alternativos de hasta 90 mT.

Se pudo observar una ligera sobreimpresión viscosa de polaridad normal, la cual se borró fácilmente con la aplicación de campos débiles (alrededor de 5 mT). No así, las muestras pertenecientes al fogón de la (estructura circular 1), donde observamos evidencia de una componente secundaria relativamente fuerte (Figura 5 parte superior). La magnetización primaria o característica se aisló aplicando entre 20 y 30 mT. Las arqueodirecciones medias fueron obtenidas exitosamente para ambas estructuras, donde se mostró una buena agrupación de direcciones individuales (Figura 6).

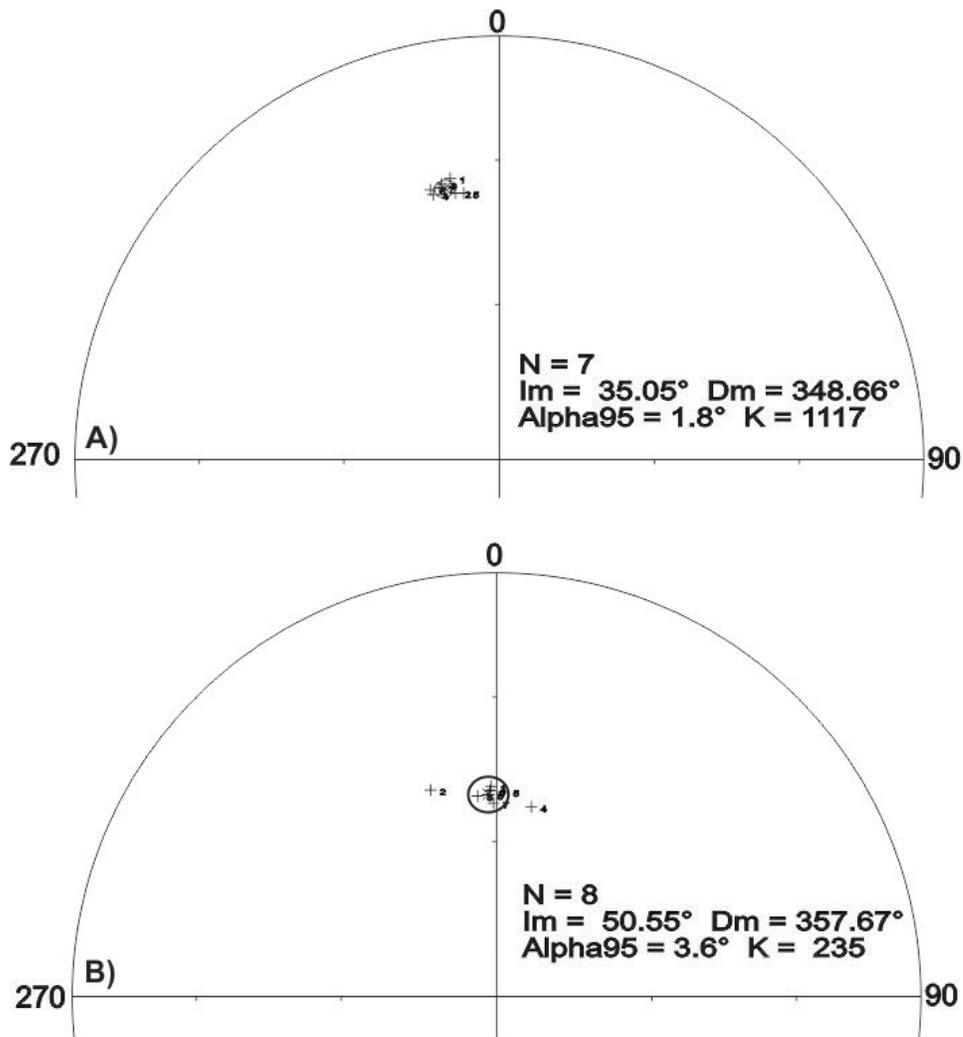


Figura 6. Proyección de iguales áreas mostrando las arqueodirecciones medias para ambos sitios estudiados.

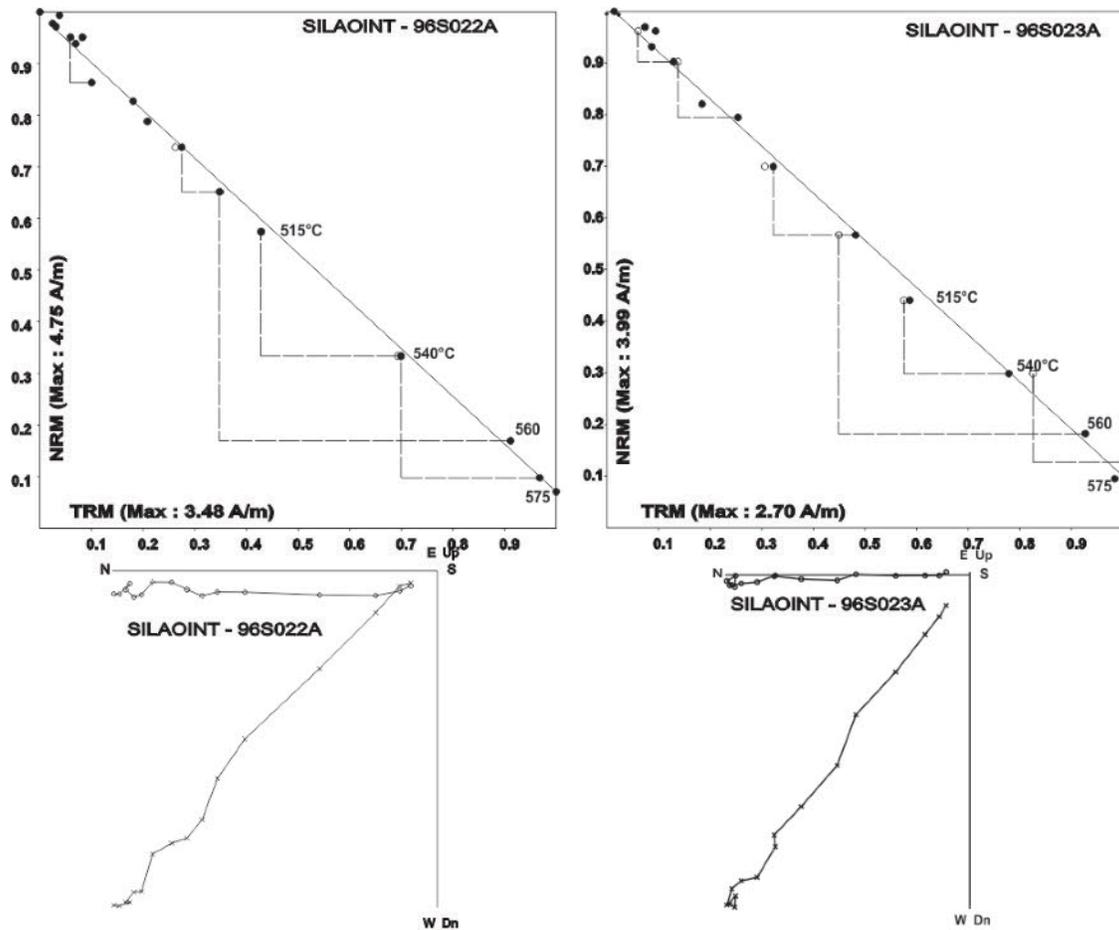


Figura 7. Diagramas de Arai-Nagata. Curvas de magnetización remanente natural (NRM por sus siglas en inglés) Vs. magnetización termorremanente parcial adquiridos en laboratorio para las muestras representativas.

Se deben cumplir varios requisitos básicos para la confiabilidad en la determinación de arqueointensidad: (a) En el diagrama de Arai-Nagata NRM, el número de puntos alineados debe exceder 5; (b) Un factor de calidad f (Coe et al., 1978) más de una tercera parte de la remanencia inicial; (3) El factor de calidad $q > 5$; (4) La determinación de arqueointensidad obtenida de los diagramas de Arai-Nagata no debe tener una forma francamente cóncava; (5) No tener evidencia de desviaciones de los puntos resultantes de la magnetización remanente natural (NRM por sus siglas en inglés) hacia la direc-

ción del campo de laboratorio (Figure 7, Tabla 1). Cabe resaltar que, no se intentó realizar estos experimentos sobre las muestras de fogón, debido a la presencia de magnetizaciones secundarias. Las 6 muestras del horno (Estructura 2) proporcionaron resultados confiables como se muestran en la Tabla 1.

MUESTRA	LAB CODE	N	Tmin-Tmax	Han (μ T)	$\pm \mu$ T	f	g	q
Kiln 2	16S017a	14	150-575	57.1	1.4	0.96	37.8	0.88
	16S022a	15	100-575	57.2	1.1	0.87	43.6	0.86
	16S022b	12	250-575	59.2	1.8	0.86	18.8	0.85
	16S023a	14	150-575	60.8	1.3	0.85	33.6	0.87
	16S023b	14	150-575	57.8	1.5	0.92	29.2	0.83
	16S024a	14	150-575	60.3	1.5	0.93	32.3	0.86

Tabla 1. El método de doble calentamiento Thellier-Thellier. Resultados de intensidad absoluta a nivel de muestra. N: el número de pasos de calentamiento utilizados; f: la fracción de NRM utilizada para la determinación de la intensidad; g: el factor de agrupamiento; q: el factor de calidad definido por Coe et al. (1978); H, el valor de arqueointensidad y la desviación estándar.

Discusión y Observaciones Finales

Los resultados de la datación arqueomagnética (Figura 8) para el fogón (Estructura 1) usando el último modelo SHADIF14K de Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014), donde se considera únicamente declinación e inclinación media, muestran al intervalo entre 973 y 1204 d.C. como la mejor estimación de la temporalidad de su uso. En cambio, para el ejercicio de datación del horno de la Estructura 2 se consideraron los tres elementos (intensidad absoluta geomagnética, inclinación y declinación), lo cual proporcionó un intervalo de edad entre 36 a.C y 40 d.C. (Figura 9). Otro intervalo potencial obtenido fue: entre 351 y 453 d.C., el que no puede descartarse totalmente, aunque se le considera como menos probable.

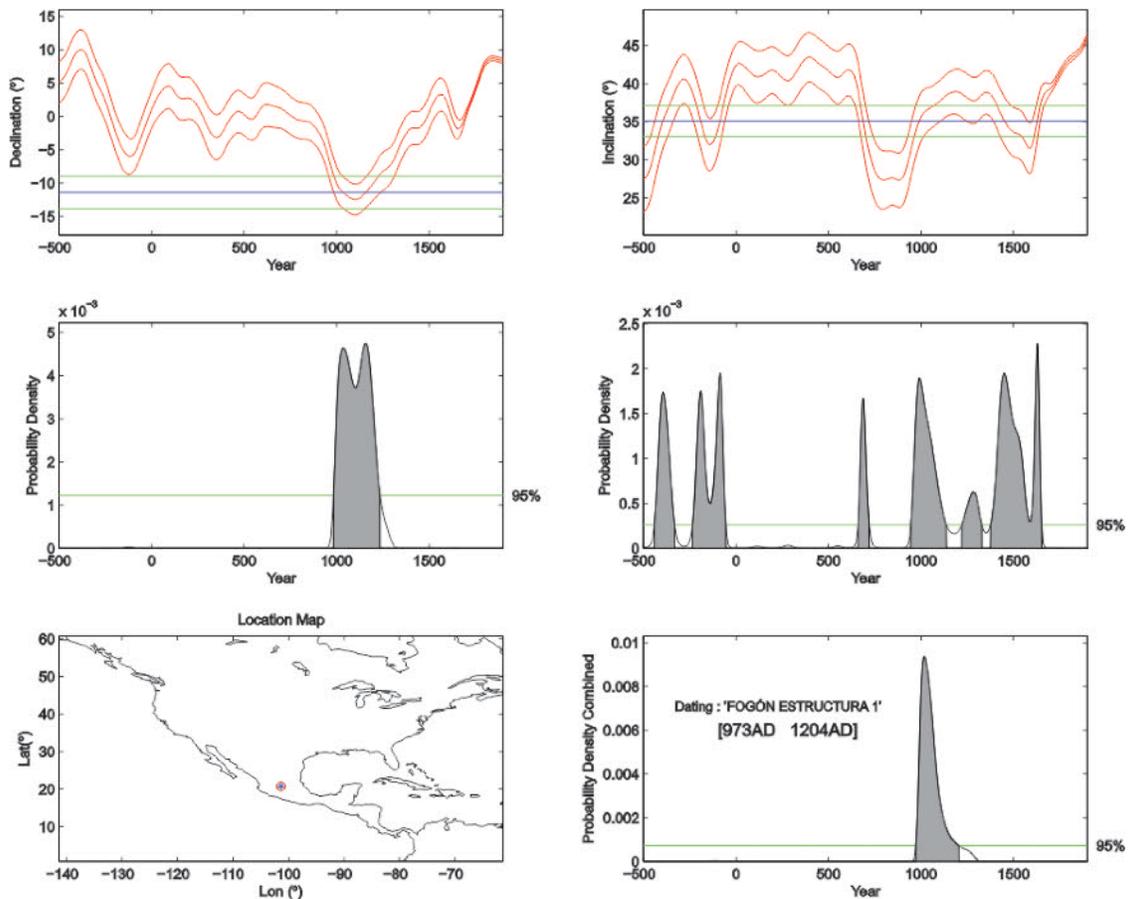


Figura 8. Datación arqueomagnética utilizando una herramienta MATLAB provista por Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) para el fogón mediante inclinación y declinación magnéticas.

Los fechamientos obtenidos en el marco de este estudio de las muestras recuperadas del sitio Lo de Juárez, abren un nuevo panorama en el estudio de las ocupaciones más tempranas de este sector del Bajío. A pesar de la existencia de reportes de cerámica de estilo Chupícuaro relativamente cerca del área, se debe referir que hasta ahora no existían dataciones absolutas que corroboraran la ocupación en el Formativo Superior.

Al situar los resultados referidos mediante fechamientos absolutos del horno (Estructura 2), entre 36 a. C. y 40 d.C., se plantea que el sitio Lo de Juárez es contemporáneo a las fases Interfase (100-1 a. C.) y Mixtlán (1-250 d. C.) (Darras y Faugere, 2007), lo

que constituye la datación más antigua con que se cuenta en la región de la cuenca del río Guanajuato.

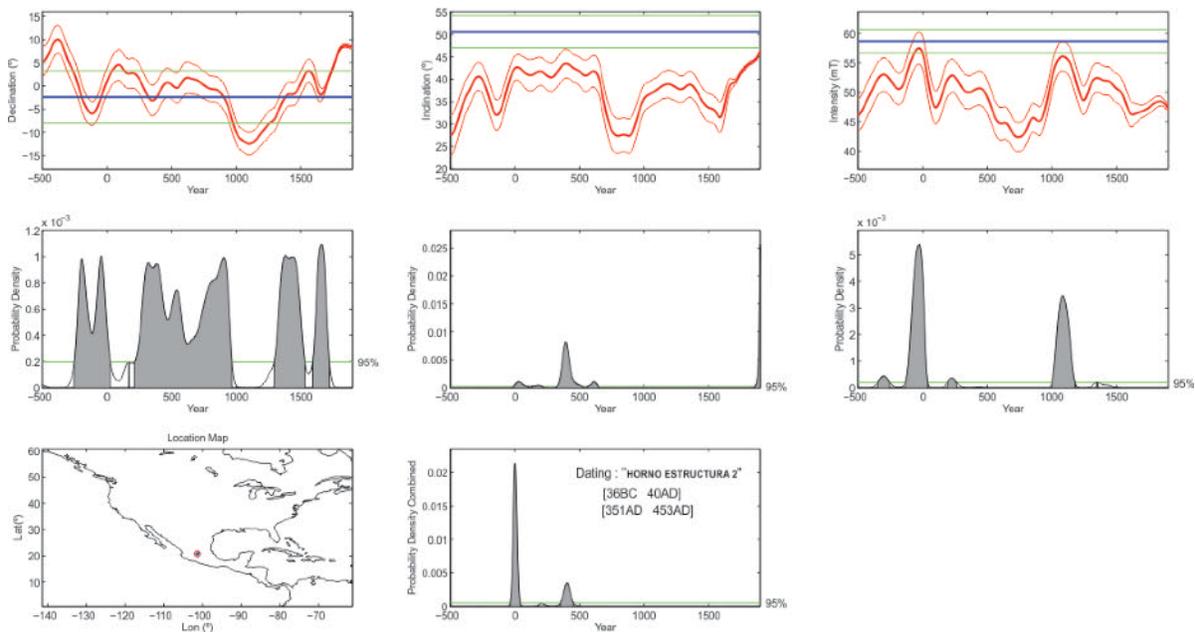


Figura 9. Datación arqueomagnética utilizando una herramienta MATLAB provista por Pación-Carrasco et al. (2011, 2014) para el horno de cal mediante el vector completo de campo geomagnético.

En primera instancia, se plantea que el sitio Lo de Juárez tuvo ocupación a partir del Formativo superior. Habría aquí que considerar que, de acuerdo con el análisis de materiales cerámicos de la Estructura 1, se plantea que el sitio estuvo habitado por núcleos familiares posiblemente relacionados con el sitio La Garrida, a partir del Clásico, y con mayor presencia en el período Epiclásico. O bien, de este momento histórico, también se podría plantear que tuvo una reocupación relacionada con las reconfiguraciones políticas que se produjeron durante el Clásico tardío. Sin embargo, la estimación del último momento de uso del fogón de la unidad habitacional, entre 973 y 1204 d.C., indica actividad humana en el período de Despoblamiento de la frontera septentrional (900 a 1300 d.C.), del Posclásico Temprano. En cuestiones generales, se piensa el sitio con ocu-

pación de tipo doméstica, lo cual se sustenta con las evidencias encontradas en la Estructura 1.

En cuestiones regionales, los fechamientos del sitio rompen el hiatus de información en torno a la dispersión de la tradición Chupícuaro en el área norte del actual municipio de Irapuato, y se conjuga con datos previos de los municipios al nororiente de éste, en los que se tiene conocimiento de ocupaciones durante el Formativo Tardío. A la vez, cuestiona el fenómeno de despoblamiento del Bajío que se propone para el Posclásico Temprano. Al parecer nos encontramos ante un escenario en donde a partir de las dataciones y el análisis de materiales cerámicos, se puede dar cuenta de presencia de población para fases en las que se suponen abandonos masivos durante el Formativo Superior y Posclásico Temprano. Es decir, el sitio arqueológico indica que la población prehispánica de Irapuato mantuvo una ocupación constante bajo la modalidad doméstica en momentos en los cuales se plantea el colapso de la tradición Chupícuaro para el Formativo Superior (Interfase) y el colapso de la Tradición Bajío para el Posclásico Temprano (Despoblamiento).

Con lo anterior, se abren otras nuevas líneas de investigación en torno a la organización de formaciones sociales en el área, inclusive se propone retomar la hipótesis de Luz María Flores y Omar Cruces, en la que se plantea la existencia de un patrón de asentamiento disperso en la población prehispánica de Irapuato. Misma que podría replantearse como una posibilidad no únicamente del período Clásico, sino que inicia en el Formativo Superior y no es exclusiva de los asentamientos con arquitectura monumental, sino que implica el asentamiento de unidades familiares bajo un esquema que estaría caracterizando a por las actividades humanas de la región de Irapuato.

Con ello surge una nueva problemática en la que cabe recordar que las áreas habitacionales Chupícuaro, se caracterizan por la alta presencia de figurillas de barro, las cuales “son muy abundantes en todos los asentamientos de la cultura Chupícuaro” (Faugère, 2014), elemento confirmado en las excavaciones reportadas en: “Nota de investigación arqueológica: Visos de historia Chupícuaro en Santiago Maravatío, Gto” (Rodríguez, 2017).

En el área identificada como horno, datado para el Formativo Superior, en el sitio Lo de Juárez, no se tuvo presencia de materiales cerámicos correspondientes a la tradición Chupícuaro, por lo cual surge la interrogante de quiénes fueron los que habitaron dicho espacio. Con esto se abre una línea, en la que pareciera vislumbrarse una etnicidad distinta a la hegemonía Chupícuaro para esta región del Bajío, o bien, que durante la etapa de Interfase y Mixtlán, en Lo de Juárez no se buscó mantener la relación con dicha tradición, sino que únicamente son contemporáneos a éstas y se desarrollan con una dinámica propia. Se presenta la interrogante, si esto implica la existencia de otras formaciones sociales durante el Formativo Superior en el Bajío que no han sido analizadas con mayor profundidad. Con lo anterior, cabe el interés de explorar la relación del sitio Lo de Juárez con el emplazamiento en el Cerro del Sombrero, al norte de la Cuenca del río Guanajuato, durante la fase Morales, contemporánea a la Mixtlán (1-250 d. C).

Sin duda, las dataciones obtenidas en este trabajo nos plantean nuevas interrogantes en torno a la población prehispánica en la región, y específicamente, en torno a las formaciones sociales que habitaron el Irapuato prehispánico, su relación con la tradición Chupícuaro, su dinámica de asentamientos, etnicidad y relaciones con otros grupos sociales del Formativo Superior. A la vez, surge el interés de ampliar el conocimiento de la población que habitó el territorio para durante el Posclásico Temprano, en donde encontramos que los estudios de un espacio doméstico parecen indicar continuidad ocupacional de larga duración en áreas de segundo orden político en la geografía política del Bajío.

Referencias bibliográficas

- Braniff C.B., 1998. Morales, Guanajuato, y la tradición Chupícuaro. Serie Arqueología. Colección Científica. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D. F.
- Cárdenas G.E., 1999. El Bajío en el Clásico. Análisis regional y organización política. El Colegio de Michoacán. Zamora, Michoacán.

- Cárdenas G.E., 2011. Significado histórico y prácticas culturales. Un análisis espacial de Peralta, Guanajuato. Tesis de doctorado en arquitectura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Cárdenas G.E., 2017. El Bajío y su definición territorial y cultural. In: Mejía E., Nava F. (Eds), El Bajío mexicano. Estudios recientes. Sociedad Mexicana de Antropología. CDMX, pp. 125-150.
- Castañeda C., 1995. Irapuato Prehispánico. Archivo Centro INAH Guanajuato, Guanajuato, Gto.
- Castañeda C., 1993. Cerro del Sombrero. Datos Básicos para Declaratoria. Archivo Centro INAH Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato.
- Carrancho, A., Gogichaishvili, A., Kapper, L., Morales, J., Soler, A.M. y Tema, E., 2015. Geomagnetic applications in archeology: state of the art and recent advances. In: Eppelbaum L.V. (Eds), New Developments in Paleomagnetism Research. Nova Science Publisher. UK, pp 53-98.
- Coe R. S., Grommé S., Mankien E., 1978. Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the Question of the Pacific Nondipole Low. *J. Geophys. Res.*, 83, 1740-1756. <https://doi.org/10.1029/JB083iB04p01740>
- Darras V., Faugère B., 2007. Chupícuaro, entre el occidente y el Altiplano central. Un balance de los conocimientos y las nuevas aportaciones. In: Faugère B. (Ed.), Dinámicas culturales entre el Occidente, el centro-Norte y la cuenca de México, del Preclásico al Epiclásico. El Colegio de Michoacán. Centro de Estudios Mesoamericanos y Centroamericanos. pp. 51-83.
- Day R., Fuller M., Schmidt V.A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 260-266. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(77\)90108-X](https://doi.org/10.1016/0031-9201(77)90108-X).
- Dunlop, D.J., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *J. Geophys. Res.* 107. 6-60.

<https://doi.org/10.1029/2001JB000486>.

Faugère B., 2014. Las figurillas de barro de Chupícuaro, Guanajuato: Imágenes aisladas y escenas, *Arqueología Mexicana*, 129, pp. 24-29.

Faugère B., Darras V., 2018. Una nueva mirada a la cultura Chupícuaro. Folleto de divulgación. Centro de Estudios Mesoamericanos y Centroamericanos. Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 2.

Flores, L.M., Cruces O., 1999. Río Guanajuato como Unidad Político-Territorial en el Centro-Norte de México. Tercer coloquio sobre Otopames. Toluca, Estado de México.

García, M.L., 2003. Pueblos afectados por la construcción del Distrito de riego número 11 del alto Lerma. In: Escobar A. (Ed), *Boletín del Archivo Histórico del Agua*. Núm. 25. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, pp. 37-41. <https://biblat.unam.mx/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2003/vol8/no25/4.pdf>.

Meave S.L., 2010. Patrón de asentamiento prehispánico de la cuenca del Río Guanajuato: una propuesta metodológica. Tesis licenciatura. ENAH. México, D.F.

Morales I., 2020. "Lo de Juárez", una unidad habitacional prehispánica en la cuenca del Río Guanajuato. Aproximación a la dinámica doméstica y sociopolítica de los habitantes del Irapuato Prehispánico. Tesis licenciatura. UAZ. Zacatecas, México.

Ortiz R, S., Goguitchaichvili A., Morales J., 2015. Sobre la Edad de los Hornos de Cal en el Área Maya, *Arqueología Iberoamericana*, 28, 9-15. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1312640>.

Pavón-Carrasco F.J., Rodríguez-González J., Osete M.L., Torta J.M., 2011. A matlab tool for archaeomagnetic dating. *J. Archaeol. Sci.*, 38,2, 408-419. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.021>

Pavón-Carrasco F.J., Osete M.L., Torta J.M., De Santis A., 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 388, 98 - 109. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.046>

- Rodríguez-Loubet F., 1978. Participación de la Misión Arqueológica y Etnológica Francesa en México en el Proyecto de Salvamento Arqueológico del INAH, en Guanajuato. Reporte de campo, Archivo Centro INAH Guanajuato, Guanajuato, Gto.
- Rodríguez L., Rivera J., Morales I., 2017. Nota de Investigación Arqueológica: Unidad habitacional en la Cuenca del Río Guanajuato, Irapuato, 30 de enero, INAH, México <https://arqueologia.inah.gob.mx/?p=1754> .
- Thellier E., Thellier, 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Géophys.*, 15, 285-376.
- Uribe M., 1978. Proyecto Guanajuato. Informe preliminar. México, INAH, Archivo Dirección Monumentos Prehispánicos, Dpto. Salvamento Arqueológico, México D. F.
- Zepeda G., Barrales D., 2008. Arqueología e identidad en Cañada de la Virgen, Guanajuato. Viramontes C., (Ed.), *Tiempo y Región. Estudios Históricos y Sociales. Ana María Crespo Oviedo In Memoria. Vol. II. Municipio de Querétaro. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Universidad Autónoma de Querétaro.* pp. 215-238.

CAPÍTULO 4 LA QUEMADA, ZACATECAS

4.1 La Quemada: Caída y abandono en dos etapas del periodo Clásico en la frontera norte de Mesoamérica

Resumen

Una investigación magnética integrada fue llevada a cabo en sitios clave del complejo arqueológico La Quemada, construido sobre una colina en la frontera norte del periodo Clásico de Mesoamérica. Se colectaron muestras de Plaza de los Sacrificios y el Salón de las Columnas con el objetivo de determinar con precisión los intervalos de edad correspondientes al declive y abandono del sitio, debido aparentemente a un incendio intencional como ritual de terminación. Se obtuvieron características bien definidas de la magnetización remanente de 23 de las 32 muestras. Además, doce muestras provenientes de dos áreas arrojaron determinaciones confiables bajo criterios establecidos en este estudio. Para todos los casos, la magnetización remanente primaria fue adquirida por dominios pseudo-sencillos de titanomagnetitas pobres en titanio, evidenciado por las curvas termomagnéticas continuas y de histéresis. La datación arqueomagnética fue realizada utilizando el vector geomagnético completo (direcciones e intensidad absoluta) y el último modelo SHADIF14k. La Plaza de los Sacrificios al parecer fue quemada en el intervalo de tiempo de 854 a 968 n.e., mientras que posteriormente el intervalo de 1018 a 1163 n.e. es asignado para las muestras colectadas en el Salón de las Columnas, lo que sugiere un abandono gradual del sitio. La primera etapa de abandono es casi sincrónica con el mismo fenómeno observado en otros sitios de la zona del Bajío (centro y occidente de Mesoamérica). Bajo estas circunstancias, no puede ser descartado que La Quemada fue incendiado completamente durante la primera etapa de abandono, pero el Salón de las Columnas fue nuevamente quemado más tarde.

Palabras clave: Norte de Mesoamérica, Zacatecas, echamiento arqueomagnético, cronología absoluta, cambios culturales, cambio climático, migraciones.

Abstract

An integrated magnetic survey was carried out on key places within the La Quemada archaeological complex, built over a hill on the northern frontier of Classic period Mesoamerica. Samples were collected from the Plaza of Sacrifices and Hall of Columns in an attempt to precisely determine the age intervals corresponding to the decline and abandonment of the site, apparently due to the intentional firing as a closure ritual. Well-defined characteristic remanent magnetizations were retrieved from 23 of 32 samples. Moreover, twelve samples belonging to two areas yielded reliable determinations under criteria curtailed in this study. In any case, a primary remanent magnetization is carried by pseudo-single-domain Ti-poor titanomagnetite, as evidenced by hysteresis and continuous thermomagnetic curves. The archaeomagnetic dating was performed using full geomagnetic vector (directions and absolute intensity) using the last SHADI-F14k model. The Plaza of Sacrifices seems to have been burned between a time interval from 854 to 968 CE, while a late interval from 1018 to 1163 CE is assigned to the samples collected in the Hall of Columns, which suggest the gradual abandonment of the site. The first abandonment stage is almost synchronous to the same phenomena observed for other sites at the Bajío area (central and western Mesoamerica) region. Under these circumstances, it cannot be discarded that La Quemada was burned in its entirety during the first stage of abandonment, but the Hall of Columns was again burned later.

Keywords: Northern Mesoamerica, Zacatecas, Archaeomagnetic dating, absolute chronology, cultural changes, climate change, migrations

1. Introducción

La zona arqueológica de La Quemada se encuentra en la parte central del Estado de Zacatecas (México), dentro del municipio de Villanueva (Figura 1). Este lugar corresponde al valle de Malpaso, donde el río Malpaso corre hacia el sur para unirse al Juchipila, otro conocido con el nombre de La Quemada. Este valle está delimitado por la Sierra Palomas hacia el este y la Sierra de Morones desde el este; existen tierras fértiles en medio regadas por el río y varios arroyos. El antiguo asentamiento se estableció en una elevación topográfica aprovechando del terreno para construir edificios espaciosos utilizando grandes terrazas.

La Quemada (Fig. 1) es uno de los asentamientos más grandes en el norte Mesoamérica. Se le describe como un "centro ceremonial compuesto de terrazas artificiales, plataformas, escaleras, calzadas, canchas de pelota, patios hundidos, templos y complejos residenciales, la mayoría de los cuales están encerrados dentro de una serie de imponentes acantilados y enormes muros de mampostería ". Las funciones y las relaciones de La Quemada han sido muy controvertidas y especulativas. Durante el siglo XX, esta ruina monumental fue correlacionada incluso con el legendario Chicomóztoc, a través del cual los mexicas pasaron su peregrinación en el viaje hacia Anáhuac. Arqueólogos lo han visto como un enclave Teotihuacano, un imperio Tolteca o incluso un bastión Tarasco en contra de las intrusiones Chichimecas (Jiménez Betts, 1994, 2005; Jiménez Betts y Darling, 2000).

Cuando la construcción de la hacienda y pueblos vecinos comenzó alrededor de las ruinas de La Quemada (principios del siglo XVIII), se usó este sitio monumental para extraer piedra. La evidencia de manchas oscuras en paredes y pisos, así como la madera carbonizada se observó por primera vez durante esa ocasión. Esto llevó a la especulación de que un gran incendio consumió la ciudad antigua. En la actualidad, se considera que la ciudad fue incendiada intencionalmente como parte de un ritual de clausura. Sin embargo, restricciones no cronológicas apoyan esta hipótesis. A pesar de varias edades radiométricas de gran calidad disponibles para el sitio, aún, no hay fecha absoluta asignada al supuesto Gran Incendio. En la presente investigación, intentamos fechar arqueomagnéticamente las áreas más importante y aparentemente bien quemadas.

das en diferentes etapas constructivas de La Quemada. El análisis consistió en: a) desmagnetización de campos alternos, b) histéresis y experimentos termomagnéticos y c) determinación de la intensidad absoluta.

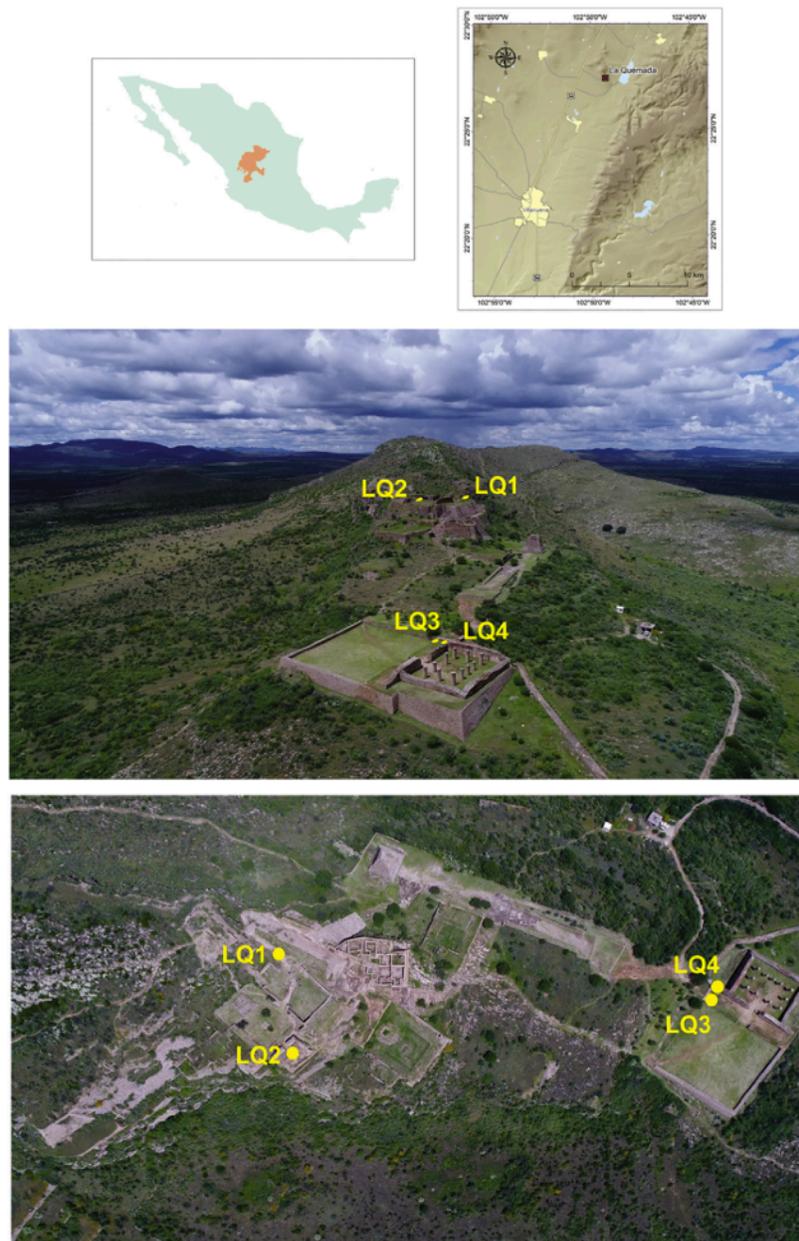


Fig. 1. Mapa de localizaciones esquemáticas y vista general del complejo arqueológico La Quemada en el estado de Zacatecas, México, se presentan los sitios muestreados.

2. Contexto arqueológico y procedencia de muestras

La fase inicial de ocupación en el Valle de Malpaso y La Quemada parece haber ocurrido entre 400 y 600/650 n.e. debido a la similitud en la decoración de la cerámica Canutillo de la Cultura Chalchihuites, para la cual un origen común se denomina Horizonte Canutillo-Malpaso (Jiménez Betts, 2005; Jiménez Betts y Darling, 2000). Dentro de esta área, La Quemada es el sitio más documentado e investigado de todos los asentamientos en el valle de Malpaso, señalando como el principal intervalo de edad el de 600/650 a 850 n.e. según las fechas radiométricas disponibles (Nelson, 1997). Hay nuevos tipos de cerámica que indican un cambio cultural en la región durante el período Epiclásico (600–900 n.e.), resaltada por cerámica elaborada pintada con decoración al negativo y diseños figurativos definidos como el tipo Tepozán (Jiménez Betts y Darling, 2000). Otras cerámicas comparten estilos con las encontradas al noroeste de La Quemada, Los Altos de Jalisco y las regiones del Bajío. Asimismo, la cerámica policromada intrusiva (Valle San Luis) corresponde a la región de Tunal Grande, al sureste de Zacatecas desde el noreste Guanajuato y el oeste de San Luis Potosí (Jiménez Betts y Darling, 2000).

En cuanto al asentamiento en sí, existe una amplia evidencia de construcciones masivas dentro de las grandes secciones del monumento que todavía son visibles actualmente. La arquitectura recuerda la tradición de Mesoamericana con monumentos piramidales truncados, patios cuadrados con altares centrales y áreas habitacionales bien desarrolladas alrededor del asentamiento más grande. El Salón de las Columnas representa (Fig. 1) una característica arquitectónica regional, que más tarde se encontrará en todo el centro y el sur de Mesoamérica. En el valle, hay varios asentamientos dispersados al rededor de La Quemada comunicado por una red de un sistema vial prehispánico (Trombold, 1985). Estos sitios tenían diferentes funciones, entre ellas, facilitar el transporte de recursos naturales como bancos de arcilla, madera o campos agrícolas, talleres artesanales, espacios sagrados y posibles sitios administrativos secundarios. También se ha señalado la posible existencia de un paisaje ritual donde se dedicaban ceremonias al sol (Medina-González, 2000). La fase final "La Ciudadela" se sitúa entre 850 y 1000 n.e. y parece corresponder a una etapa de crisis en el valle, lo que causó un

abandono del sitio que había sido quemado (Jiménez Betts y Darling, 2000; Jiménez Betts, 2010).

Las primeras estimaciones cronológicas de La Quemada provienen de las excavaciones de Pedro Armillas realizadas en 1951 en *El Cuartel*, obteniendo fechas que oscilan entre 775 y 1200 n.e. Las excavaciones posteriores de Armillas una década después en El Cuartel produjeron 10 muestras de carbono para análisis radiométrico, que proporcionó fechas que van desde 1080 hasta 1540 n.e. Con base en esta información, se consideró que La Quemada correspondiente al período Postclásico (900 a 1100 n.e.), fundado como punto intermedio de la ruta de la turquesa que unía el Cañón del Chaco en el Suroeste de América del Norte con Tula en el centro de México. No fue hasta las décadas de los 80s y 90s, cuando se retoman los estudios radiométricos para determinar la cronología absoluta del valle de Malpaso. En el caso de La Quemada, Trombold (1985) obtuvo técnicamente las primeras edades radiométricas de alta calidad. Ben Nelson (1997) fechó 39 muestras, 19 de una Terraza y 20 de depósitos de basura dentro del área de las 56 gradas. Nelson argumenta que La Quemada fue fundada alrededor de 500 n.e., con su máximo desarrollo entre 600 y 750 n.e., y comenzando su declive hacia 800 n.e., y el abandono final en 900 n.e. (Nelson, 1997).

Las muestras de este estudio pertenecen al Salón de las Columnas y al Plaza de los Sacrificios. El Salón de las Columnas (Fig. 1), uno de los principales edificios del asentamiento debido a su peculiaridad arquitectónica, se encuentra en el extremo sur del nivel inferior de La Quemada (Figs. 1 y 2).

Las medidas interiores del edificio son de 30 m x 40 m, con muros perimetrales de mampostería y columnas que alcanzan los 6 m de altura. La puerta en la cara oeste del edificio se destacan dos columnas, que apoya un dintel o recinto para soportar el techo en la entrada. Las excavaciones realizadas en el Salón de las Columnas encontraron el edificio que había sido totalmente techado, y durante su uso fue renovado en 4 ocasiones (Jiménez Betts, 2010). Las muestras de radiocarbono tomadas de tres fragmentos carbonizados de vigas del techo encontrados directamente sobre el piso de arcilla cocida de color rojo-ladrillo, producido por el techo ardiente que colapsó, dieron las edades de 870–990 n.e. (calibraciones 1 sigma para todas los fechamientos), 680–800 n.e., y 670–780

n.e. (Jiménez Betts y Darling, 2000), marcando la construcción de esta estructura. En el presente estudio, dos muestras (LQ3 y LQ4) provienen del sector norte del Salón de las Columnas (Fig. 2). El primero corresponde a un piso de arcilla endurecida, que fue expuesto al fuego que aparentemente destruyó la ciudad durante este abandono (LQ3). La segunda muestra corresponde a un fragmento de la pared aplanada (LQ4) de la fachada del Salón de las Columnas en su extremo norte. La Plaza de los Sacrificios es parte del tercer nivel del asentamiento, es decir, en la cima de la colina. Consiste en una gran plaza con un altar al centro delimitado por aceras y habitaciones al este, sur y oeste, mientras que al norte hay un sótano piramidal de cuatro cuerpos. Dos muestras orientadas de esta área fueron obtenidas (LQ1 y LQ2) de pisos quemados.

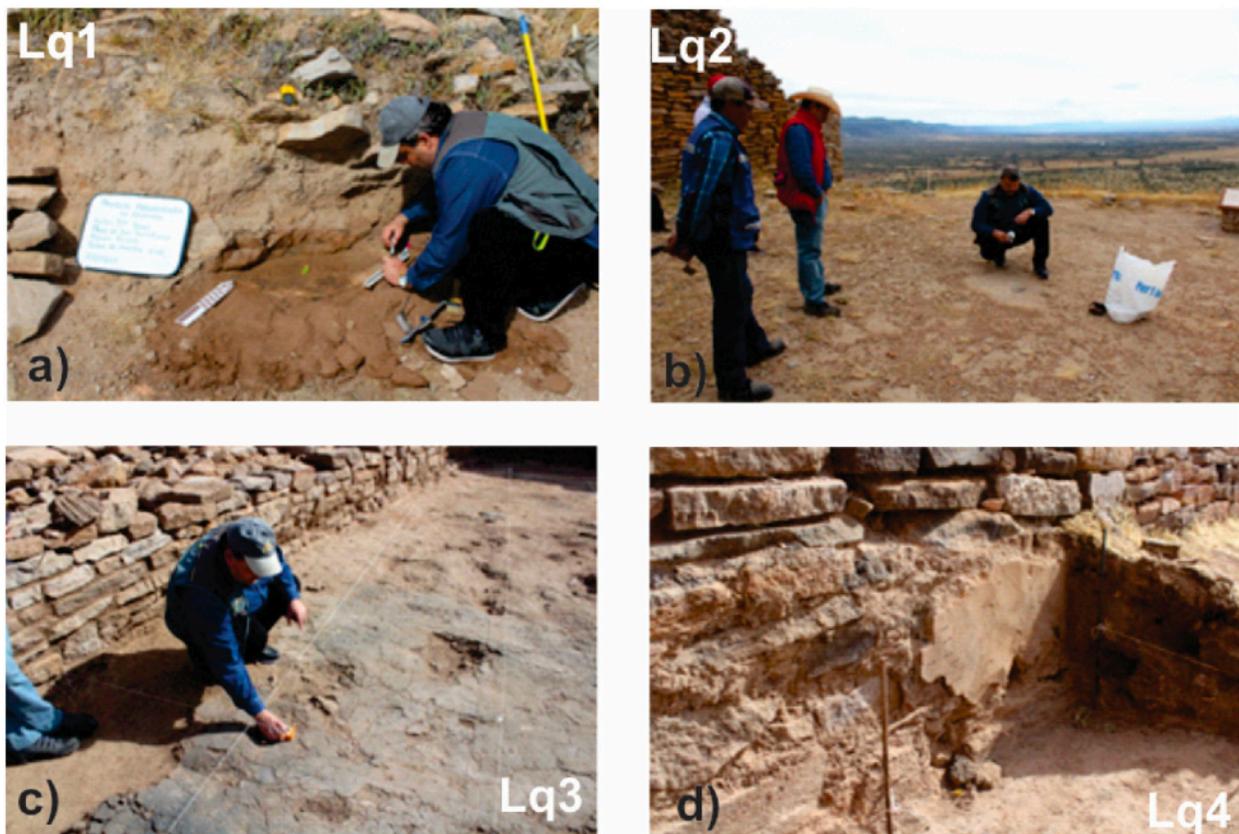


Fig. 2. Detalles de la localización de las muestras: Los sitios LQ1 y LQ2 corresponden a la Plaza de los Sacrificios, mientras que LQ3 y LQ4 corresponden al Salón de las Columnas. Ver texto para más detalles.

3. Técnicas de laboratorio

Se llevaron a cabo varios experimentos de magnetismo de rocas y arqueomagnetismo para determinar las direcciones características de magnetización remanente, revelar el origen de los principales portadores magnéticos y se seleccionaron las muestras más prometedoras para las mediciones de arqueointensidad. Estos experimentos consistieron en una desmagnetización sistemática por el registro de la magnetización inducida de saturación versus temperatura (también conocida como curvas termomagnéticas continuas), ciclos de histéresis y la adquisición de curvas de magnetización remanente isothermal se obtuvieron utilizando una Balanza traslacional de campo variable (Balanza de Curie). Las curvas termomagnéticas continuas fueron obtenidas calentando las muestras en el aire por encima de 600 °C y luego enfriándolas a temperatura ambiente. Las mediciones de remanencia se llevaron a cabo utilizando magnetómetros de giro AGICO JR5 y JR6 mientras que los tratamientos de campo alterno se realizaron utilizando un desmagnetizador LDA-5. Los experimentos de intensidad absoluta se llevaron a cabo utilizando el método de doble calentamiento de Thellier (Thellier y Thellier, 1959) modificado por Coe et al. (1978). Se usó un horno de paleointensidad MMTM-80 para estos experimentos.

Las mediciones se realizaron en 13 pasos de temperatura (Fig. 5) de temperatura ambiente a 560 °C. Después del tercer paso de calentamiento, se realizaron controles de calentamiento (llamados pTRM-checks) a lo largo de todos los experimentos. La dependencia por ritmo de enfriamiento de TRM (Magnetización termorremanente) se investigó siguiendo el procedimiento modificado descrito por Chauvin et al. (2000), mientras que el efecto de anisotropía de remanencia se mitigó siguiendo el procedimiento informado por Morales et al. (2015) Durante los experimentos de arqueointensidad, las muestras de mano estudiadas fueron fragmentadas en 6 especímenes y comprimidas dentro de pastillas de sal para manipularlas como muestras paleomagnéticas estándar.

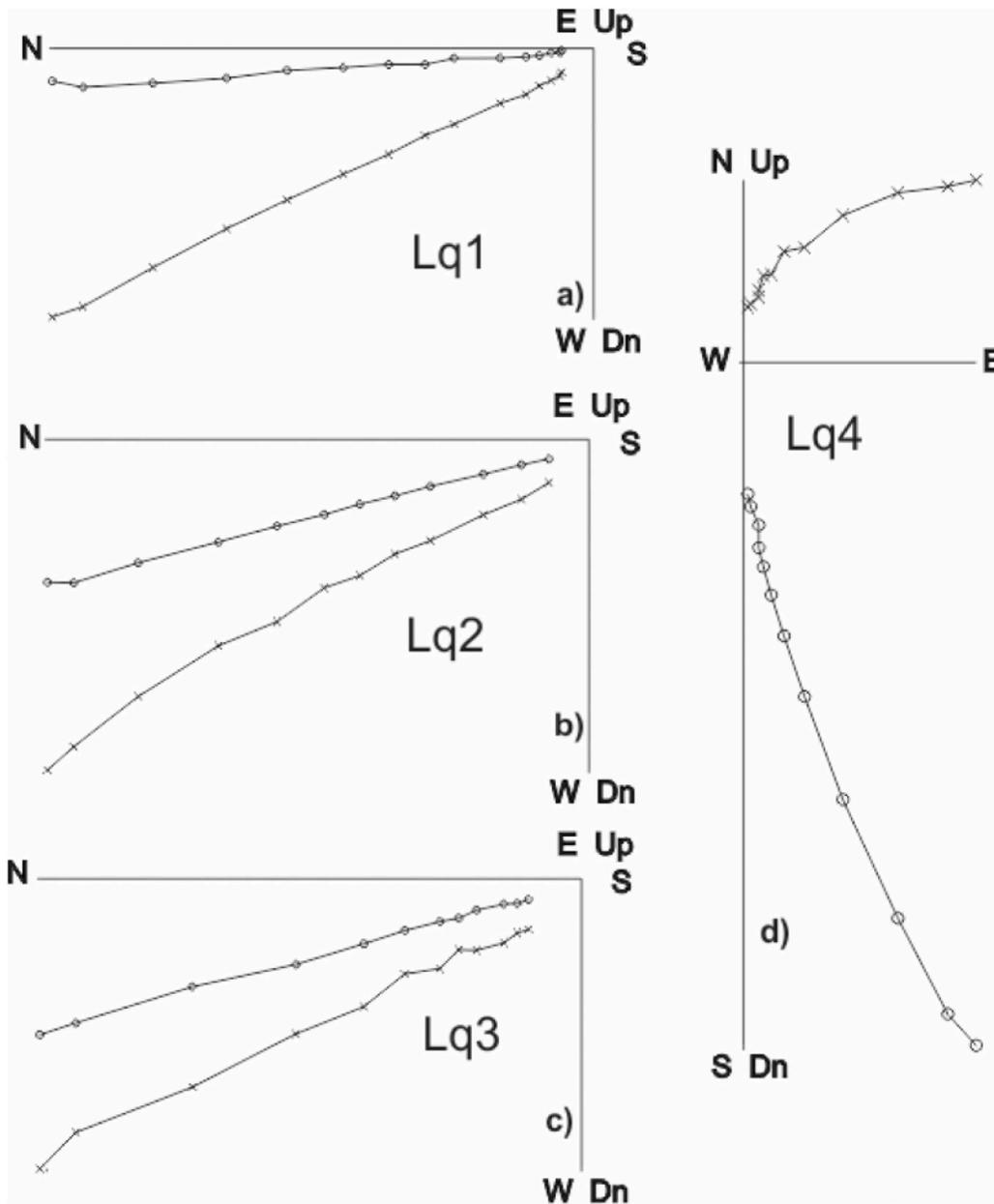


Fig. 3. Ejemplos representativos de gráficas de vectores ortogonales (también conocido como diagramas de Zijdeveld) ilustrando los tratamientos de campos alternos superiores a 95 mT para las muestras de La Quemada.

4. Principales resultados y principales conclusiones

Se obtuvieron direcciones paleomagnéticas confiables en 23 de las 32 muestras. La evidencia de un único componente magnéticamente estable fue revelado para todas las muestras que pertenecen a los sitios LQ1, LQ2 y LQ3 (Fig. 3 A y B). No se obtuvo alguna determinación del sitio LQ4 (8 muestras) ya que los tratamientos de campo alterno no pudieron separar la componente primaria de magnetización (Fig. 3 C). Estos presentaron, aparentemente múltiples sobreimpresiones magnéticas tal vez debidas al efecto de rayo de carácter local. No se aisló ninguna remanencia característica primaria después de aplicar un campo alterno máximo disponible de 95 mT. La ocurrencia de hematita no se atestiguó en las curvas termomagnéticas continuas que indican claramente la presencia de titanomagnetita pobre en Ti (muy cerca de la fase magnetita ferrimagnética). La curva de adquisición de remanencia isotérmal (IRM) también descarta la posible presencia de hematita antiferromagnética ya que la saturación se alcanza a campos aplicados bajos a moderados. Todas las muestras pertenecientes al sitio LQ4 fueron descartadas para futuras mediciones de paleointensidad.

Doce muestras pertenecientes a sitios LQ1 y LQ3 arrojaron determinaciones confiables bajo los siguientes criterios de aceptación: (1) El número de los puntos en los diagramas de NRM disminución/TRM ganancia exceda a 6. (2) La fracción de remanencia inicial f (Coe et al., 1978) sea más de la mitad. (3) El factor de calidad $q \geq 5$. (4) No se observa comportamiento cóncavo hacia arriba en las gráficas NRM-TRM. (5) No hay evidencia de desviaciones de la magnetización remanente hacia la dirección del campo de laboratorio y (6) controles pTRM positivos (dentro del 15% por ciento en la etapa inicial (hasta 400 ° C) y 10% entre 400 y 560 °C). Estadísticamente, se obtuvo indiscutiblemente paleodirecciones de los sitios LQ1 y LQ2 (Fig. 4). Por lo tanto, las direcciones medias fueron calculadas utilizando todas las muestras pertenecientes a LQ1 y LQ2 obteniendo $Inc = 33,67^\circ$, $Dec = 356,16^\circ$, $a_{95} = 2,1^\circ$ y $k = 323$. El sitio LQ3, basado en 8 desmagnetizaciones, arrojó las siguientes paleodirecciones medias: $Inc = 40,59^\circ$, $Dec = 345,55^\circ$, $a_{95} = 3,4^\circ$ y $k = 266$. Como las determinaciones de arqueointensidad están relacionadas (Tabla 1 y Fig. 5), las consideramos como confiables ya que la curva termomagnética asociada (Fig. 5) muestra un comportamiento razonablemente reversible que

apunta a titanomagnetita pobre en Ti como portador magnético principal, mientras que la gráfica de histéresis y las curvas de magnetización remanente isothermal atestiguan la probable presencia de pequeños minerales ferrimagnéticos de dominio pseudo-sencillo.

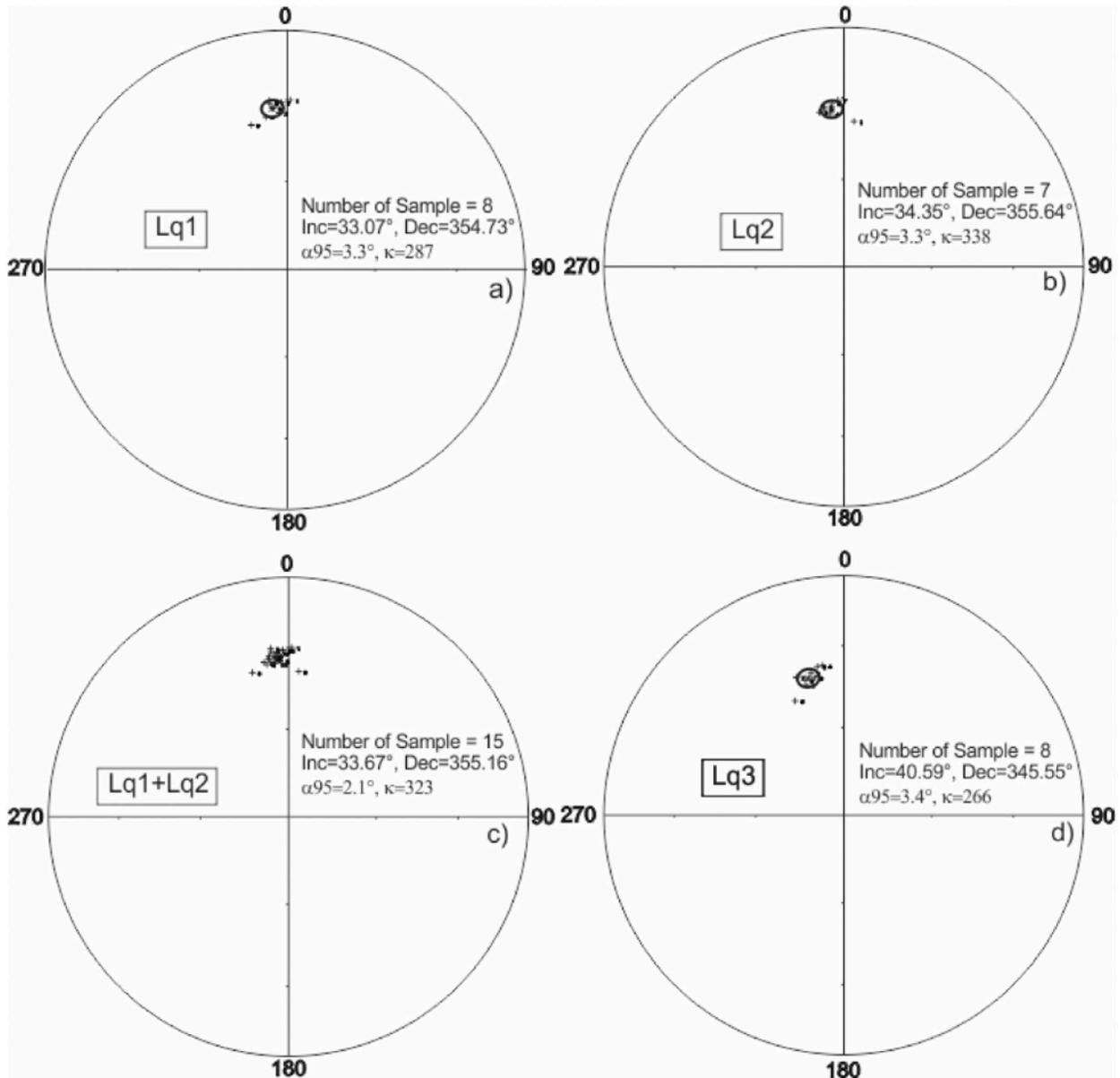


Fig. 4. Proyección estereográfica de las paleodirecciones medias del sitio junto con los parámetros de la estadística Fisher. No se obtuvieron paleodirecciones para el sitio LQ4 (ver texto para más detalles).

El sitio LQ1 (Plaza de los Sacrificios) proporcionó en promedio una intensidad de $40.6 \pm 2.6 \mu\text{T}$, mientras que LQ3 (Salón de las Columnas) produjo $56.5 \pm 3.9 \mu\text{T}$. En términos generales, la determinación de arqueointensidad es mucho más delicada y requiere mucho más tiempo que las direcciones por ello solo muestras con algunos criterios específicos pueden seleccionarse (es decir, evidencia de un solo componente de remanencia estable y curvas termomagnéticas razonablemente reversibles) para tal fin. Por lo tanto, el sitio LQ4 se descartó en la etapa inicial de los experimentos y el sitio LQ2 proporcionó determinaciones de baja calidad técnica (el número de los puntos en los diagramas de NRM disminución/TRM ganancia fueron sistemáticamente <5 . La fracción de remanencia inicial f (Coe et al., 1978) $<30\%$ y el factor de calidad $q <5$. Además, algunos de los controles de calentamiento (los llamados pTRM checks) fueron negativos.

Sample	Lab code	N	Han (μT)	$\pm \mu\text{T}$	f	g	q
LQ1							
LQ1-3A	08Q014A-1	9	42.6	2.4	0.53	0.87	5.8
LQ1-3B	08Q014A-2	7	35.8	2.1	0.49	0.85	9.3
LQ1-3C	08Q014A-3	8	38.4	1.9	0.63	0.79	11.2
LQ1-2A	08Q014A-4	8	43.3	3.3	0.54	0.78	4.8
LQ1-2B	08Q014A-5	8	47.2	3.2	0.61	0.84	6.2
LQ1-2C	08Q014A-6	7	36.4	2.7	0.58	0.82	5.2
LQ3							
LQ3-1A	08Q032A-2	14	50.8	4.2	0.61	0.80	5.6
LQ3-1A	08Q032A-3	14	66.2	5.9	0.62	0.83	7.2
LQ3-1A	08Q032A-4	14	55.3	6.1	0.58	0.77	6.8
LQ3-1A	08Q032A-5	14	65.3	7.2	0.53	0.79	9.1
LQ3-1A	08Q032A-6	14	49.2	5.2	0.47	0.85	7.0
LQ3-1A	08Q032A-7	14	52.3	4.7	0.55	0.81	5.1

Tabla 1. Resultados de arqueointensidad a nivel de muestra, N: el número de pasos de calentamiento utilizado; f: la fracción de NRM utilizada para la determinación de la intensidad; g: el factor de brecha; q: el factor de calidad definido por Coe et al. (1978); H_{corr} : valor de arqueointensidad corregido por efecto de ritmo de enfriamiento.

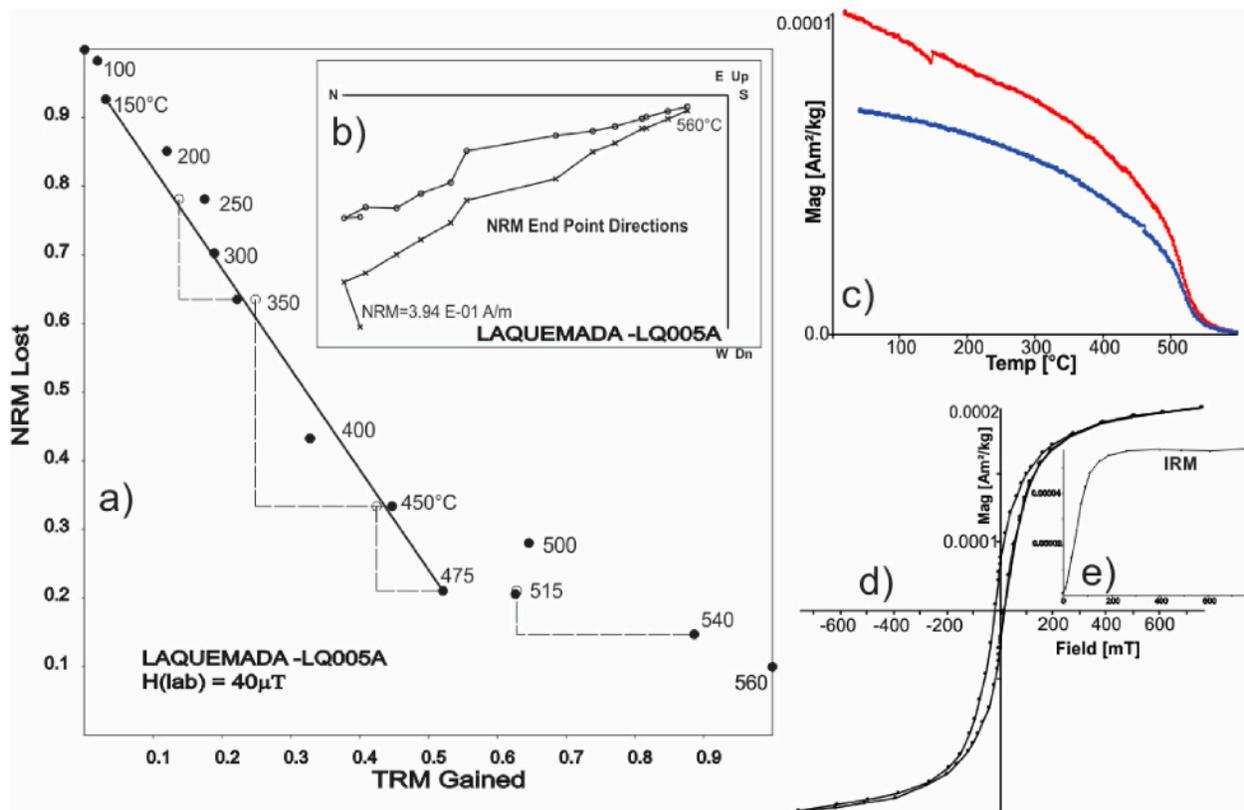


Fig. 5. Magnetización Remanente Natural (NRM) representativa - Gráficas de Magnetización Termomagnética Remanente (TRM) (llamados diagramas de Arai-Nagata) y su vector ortogonal asociado, NRM y diagramas de puntos de desmagnetización para muestras representativas. También se muestra ciclo de histéresis, curva de adquisición de remanencia isothermal y la curva termomagnética continua registrada en su muestra hermana.

La datación arqueomagnética (Figs. 6 y 7) utilizando el último modelo SHADI-F14k de Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) da un intervalo de tiempo entre 854 y 968 n.e. (Fig. 6) como la estimación de edad mas probable para los sitios superiores (LQ1 y LQ2 Plaza de los Sacrificios). Cabe señalar que el intervalo de tiempo entre 722 y 820 n.e. no puede ser descartado por completo. El Salón de las Columnas (LQ3), considerado el espacio ritual principal del sitio, produjo un intervalo de tiempo entre 1018 y 1163 n.e., que no coincide con el principal núcleo disponible, de las edades radiométricas estima-

das para La Quemada de alta calidad técnica. Estos resultados pueden indicar que La Quemada fue incendiada en dos ocasiones o en dos etapas. Asimismo, no podemos excluir la posibilidad de que se produjo un incendio general en varias secciones del sitio entre 854 y 968, pero el Salón de las Columnas se volvió a quemar entre 1018 y 1163.

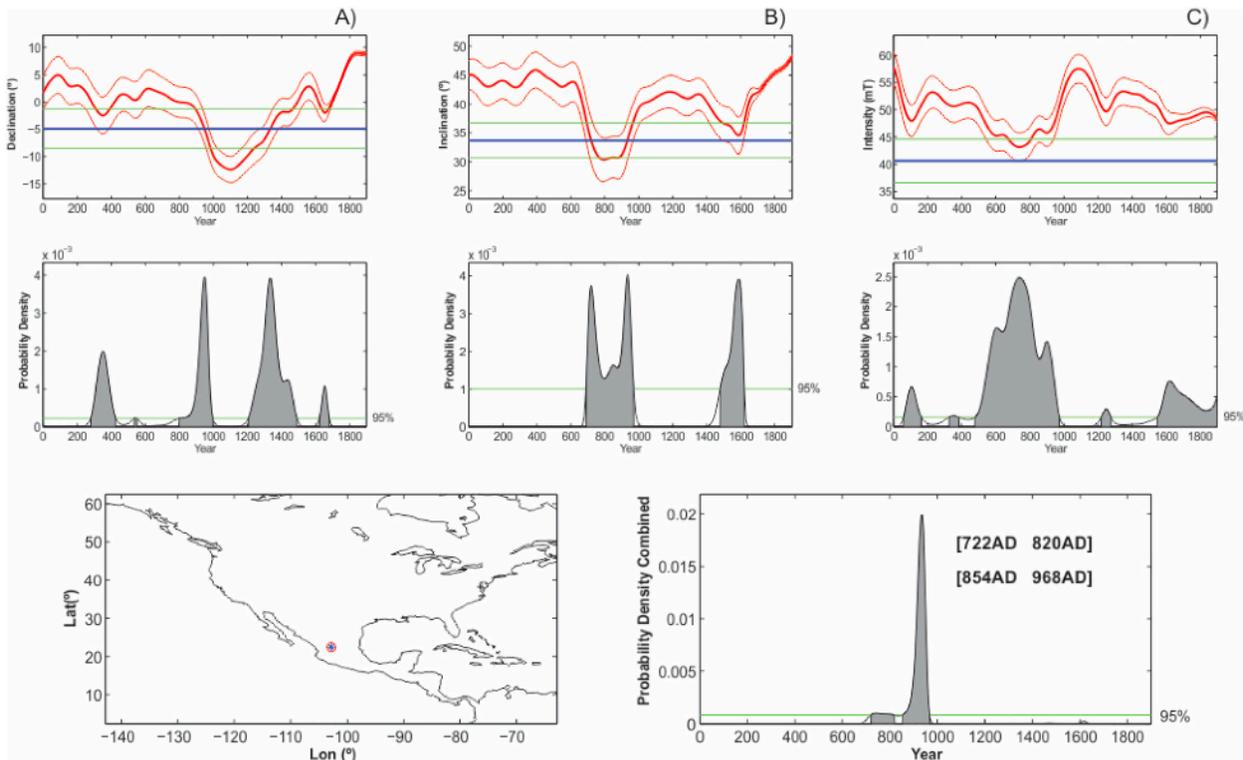


Fig. 6. Datación arqueomagnética utilizando la herramienta de MATLAB desarrollada por Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) para muestras de Plaza de los Sacrificios basadas en la variación del vector paleomagnético completo: a) Declinación, b) Inclinación y c) Intensidad absoluta.

Un tema importante para entender La Quemada reside en un mejor conocimiento de la cronología de la ocupación del sitio. En general se ha propuesto que en algún momento alrededor de 300-350 n.e. una migración de simples poblaciones sedentarias a nivel de aldea provenientes de la zona del Bajío (sur Guanajuato, noreste de Jalisco) parecen haber llegado a los valles del centro y norte de Zacatecas donde convivieron, y parcialmente se transformaron, algunos de los grupos seminómadas, en un proceso modelado como difusión suave (Kelley, 1974; Jimenez Betts, 2005). Esto resultó en la

fase temprana de ocupación sedentaria del valle de Malpaso. En el presente, existe un consenso entre los investigadores de que la ocupación temprana del sitio comenzó en algún momento entre 400 y 500, un período conocido como Complejo Malpaso (Jiménez Betts y Darling, 2000; Jiménez Betts, 2005; Nelson, 1997). Los primeros tipos de cerámica muestran una fuerte similitud a las vasijas de trípode negro con incisiones de patrones geométricos de la zona cultural Chalchihuites (Jiménez Betts, 1989; Trombold, 1985). La siguiente fase, el "Complejo La Quemada" de 600/650 y 850 n.e. representa el período de ocupación Epiclásico Mesoamericano en el sitio y el valle y constituye el apogeo de La Quemada (Jiménez Betts, 1989; Jiménez Betts y Darling, 2000; Nelson, 1997; Trombold, 1985). Con respecto a ocupación final de La Quemada, aún no hay consenso, aunque una fase final, "la Ciudadela", entre 850 y 1000 n.e. fue propuesta a partir del trabajo de Lelgemann en el sector más septentrional de La Quemada (Jiménez Betts y Darling, 2000).

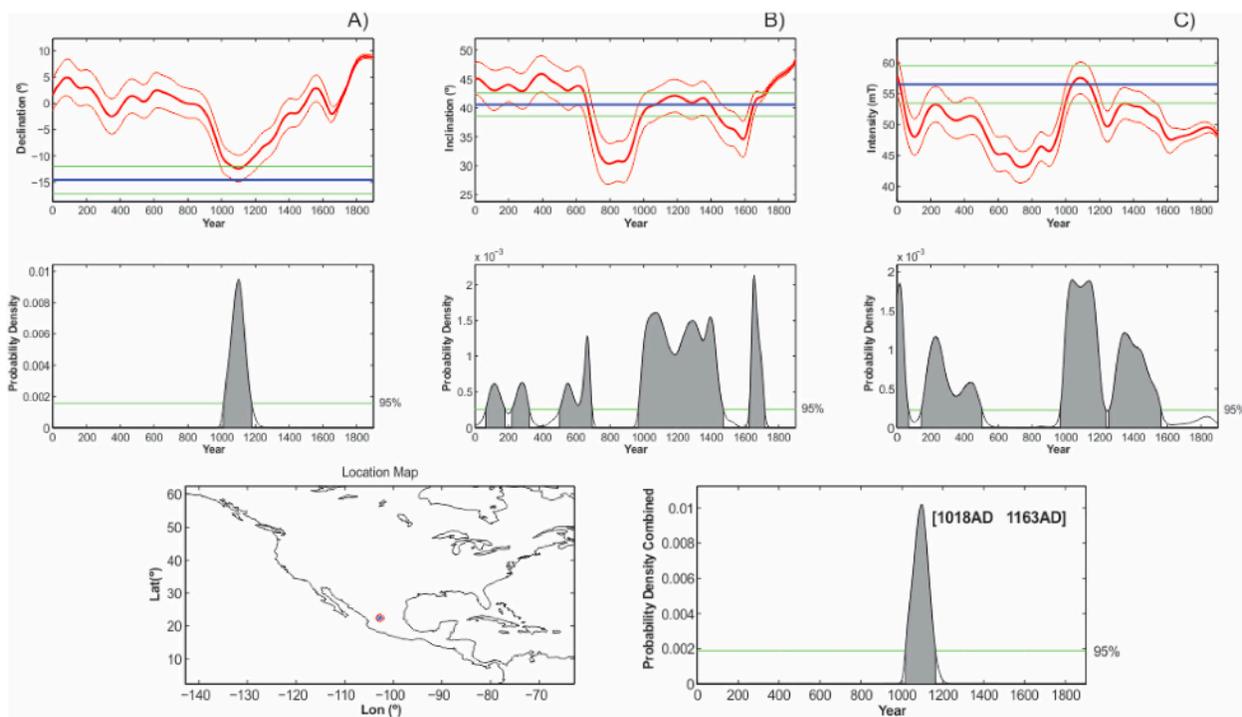


Fig. 7. Datación arqueomagnética utilizando la herramienta de MATLAB desarrollada por Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) para las muestras de Sala de las Columnas basadas en la variación del vector paleomagnético completo: a) Declinación, b) Inclinación y c) Intensidad absoluta.

Actualmente se considera que sitio fue intencionalmente quemado, de manera ritual como parte de alguna forma de evento ceremonial de clausura. Tradicionalmente, también se ha propuesto que el final del período Epiclásico fue caracterizado por movimientos migratorios y abandono de los principales asentamientos de la frontera norte de Mesoamérica (Davis, 1977; Jiménez Moreno, 1966; Hers, 1989; López-Austin y López-Luján, 1999), que se creen provocados por un cambio climático alrededor del 1100 n.e. (Armillas, 1964, 1969). Esta hipótesis ha sido objeto de un examen minucioso solo recientemente. Las reconstrucciones paleoclimáticas realizadas durante los últimos 20 años han demostrado que el actual medio ambiente semidesértico de la región fue provocado a finales del siglo XVII y principios del XVIII, con toda probabilidad, por la deforestación intensiva para asegurar la madera y el carbón para las actividades mineras coloniales en Zacatecas y sus alrededores (Elliot et al., 2010; Somerville, 2015), mientras que el clima prehispánico se mantuvo estable para la agricultura y presentó poca evidencia de cambios significativos. Esto subraya la probabilidad de que el colapso de La Quemada, y mucho de la frontera norte, pudo haber caído como resultado de razones sociopolíticas, más que el cambio climático y las invasiones nómadas cuya evidencia es escasa.

Un reciente estudio pan-regional sugiere que La Quemada colapsó entre 1000 y 1050 n.e. como resultado del cambio de red de interacción que afectó la red de bienes de prestigio que unía a La Quemada con el centro de Jalisco durante el período Epiclásico. Esta red fue interrumpida por la aparición de un nuevo sistema de red que se extiende a lo largo de las cuencas del lago del Occidente de México que unían Tula con la zona Aztatlán de la Costa del Pacífico en 1000-1050 n.e., cortando el sistema de red Epiclásico resultando en el declive y caída de La Quemada, junto a una serie de las esferas culturales vecinas de la frontera norte del Epiclásico (Jiménez Betts, 2018). Patrones indicativos de incendios destructivos relacionados con el colapso del sitio se ha verificado en lugares como Plazuelas, en el área de Guanajuato, donde se encontró evidencia de que los templos, palacios, emblemas y dioses fueron destruidos y la ciudad incendiada, siendo completamente abandonada en 900-1000 EC (Castañeda-López y Quiroz-Rosales, 2004; Morales et al., 2015). Además, también hay saqueos de ofrendas y mutilaciones de es-

culturas para desacralizar el espacio.(Castañeda-López y Quiroz-Rosales, 2004). En el recinto de Barajas, cerca Plazuelas, se observa un fenómeno similar, donde los datos recuperado en las excavaciones indican que en la *Yacata del Ángel* las puertas fueron cuidadosamente tapiada; antes de esta acción, se colocaron grandes tiestos de una olla roja cruda, que se refiere a un ritual de terminación(Migeon, 2003). En el Sitio El Cerrito en Querétaro, se detectaron restos de madera carbonizada de columnas y vigas del techo (Valencia-Cruz, 2015). Sitios en la región Tunal Grande también sufrieron grandes incendios al momento de su abandono (Torreblanca-Padilla, 2015).

Los asentamientos en el actual estado de Zacatecas han producido contextos que podrían verse como evidencia de cierre ritual, o en un caso, de posible violencia. En el caso del sitio de Alta Vista, en el noreste Zacatecas, Kelley propone un contexto de guerra, involucrando sacrificios humanos, habiendo destruido completamente este centro ceremonial, que fue quemado y abandonado (Kelley, 1990). Asimismo, el análisis de los mismos contextos pueden verse como si hubieran constituido originalmente entierros suspendidos de vigas perimetrales que caían sobre los pisos de la plaza de un ritual de terminación de fuego. Para el valle de Malpaso, la excavación reciente en la entrada de el Salón de las Columnas de La Quemada detectó numerosas vasijas elaboradas con pintura al negativo de Tepozán, colocadas en el suelo aparentemente como ofrenda ritual de terminación previa al incendio del Salón. Dentro del Salón, se detectó una gran cantidad de restos de huesos humanos debajo del techo derrumbado como consecuencia del intenso incendio (Jiménez Betts, 2010; Medina-González, 2012).

Hasta ahora, poco se sabía sobre los acontecimientos de la última etapa de ocupación en La Quemada, sin embargo, los nuevos datos permiten un conjunto de nuevas preguntas para ser formuladas e investigadas. En la actualidad, tenemos evidencia que sugiere un abandono gradual, en el que los rituales de cierre se realizaron, como la colocación de ofrendas e incendios intencionales. Con base en las nuevas fechas, sostenemos que hubo un abandono gradual de la ciudad, primero en la parte de la Acrópolis (Plaza de los Sacrificios) donde también hay evidencia del cierre de la escalera de acceso (Jiménez Betts, 2010). Posteriormente, la parte inferior del asentamiento, el Salón de las Columnas se quemó, en lo que parece ser el cierre final de este sitio monumental.

Referencias

- Armillas, P. (1964). Condiciones ambientales y movimientos de pueblos en la frontera septentrional de México, Homenaje a Fernando Márquez-Miranda. En: Publicaciones del Seminario de Estudios Americanistas y Seminario de Antropología Americana. Universidades de Madrid y Sevilla, Madrid, pp. 62-82.
- Armillas, P., (1969). The arid frontier of Mexican civilization. *Trans. NY Acad. Sci.* 31 (6, series 2), 694-704.
- Castañeda-López, C., Quiroz-Rosales, J. (2004). En: Cárdenas, E. (Ed.), Plazuelas y la tradición del bajío. Tradiciones arqueológicas. El Colegio de Michoacán, pp. 140-159.
- Chauvin, A., Caria, Y., Lanos, Ph., Laubenheimer, F., (2000). Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Phys. Earth Planet. Inter.* 120, 111-136.
- Coe, R.S., Grommé, S., Mankinen, E.A., (1978). Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 83 (B4), 1740-1756.
- Davis, N. (1977). *The Toltecs*. University of Oklahoma Press, Norman.
- Elliot, M., Fisher, C., Nelson, B., Molina, R., Collins, S., Pearsall, D. (2010). Climate, agriculture, and cycles of human occupation over the last 4000 yr in southern Zacatecas, Mexico. *Quat. Res.* 74 (1), 26-35.
- Hers, M.A. (1989). Los toltecas en tierras chichimecas. En: Cuadernos de Historia del Arte 35. IIE-UNAM (226 pp.).

- Jimenez Betts, P. (1989). Perspectivas sobre la arqueología de Zacatecas. En: Arqueología. vol. 5. Departamento de Monumentos Prehispánicos del INAH, México, DF, pp. 33-50.
- Jiménez Betts, P. (2010). La Quemada. Rescate y estudio de un monumento arqueológico. Instituto Zacatecano de Cultura/INAH, Zacatecas.
- Jimenez Betts, P. (2018). Orienting West Mexico. The Mesoamerican world-system 200-1200 CE. En: Gotarc Series B. Archaeological Theses. vol. 71 Department of Historical Studies, University of Gothenburg, Sweden.
- Jimenez Moreno, W. (1966). Mesoamerica before the Toltecs. En: Paddock, J. (Ed.), Ancient Oaxaca. Stanford University Press, pp. 1-82.
- Jimenez Betts, P. (1994). La Quemada, Cuna de los Toltecas. *Arqueol. Mex.* I (6), 45-47.
- Jimenez Betts, P. (2005). Avances recientes en la arqueología del Valle de Malpaso. En: Vargas-Pacheco, E. (Ed.), IV Coloquio Pedro Bosch Gimpera. El Occidente y Centro de México. IIA-UNAM, pp. 131-149.
- Jimenez Betts, P., Darling, J.A. (2000). Archaeology of southern Zacatecas. Greater Mesoamerica. En: Foster, M.S., Gorenstein, S. (Eds.), The Archaeology of West and Northwest Mexico. The University of Utah Press, pp. 155-180.
- Kelley, J.C. (1974). Speculations of the culture history of northwestern Mexico. En: Bell, Betty (Ed.), The Archaeology of West Mexico. Sociedad de Estudios Avanzados del Occidente, Ajijic, pp. 19-39.
- Kelley, J.C. (1990). The Early Postclassic in Northern Zacatecas and Durango IX to XII centuries. Mesoamérica y norte de México, siglos IX-XII. En: Moreno, W. Jiménez, Sodi-Miranda, F. (Eds.), Seminario de arqueología. INAH, pp. 487-520.

- López-Austin, A., López-Luján, L., 1999. Mito y realidad de Zuyuá. FCE, Colegio de México (168 pp.).
- Medina-González, J.H. (2000). El paisaje ritual en el Valle de Malpaso. (Tesis ENAH).
- Medina-González, J.H. (2012). La Quemada. Diálogos con el pasado. INAH, pp. 275-284.
- Migeon, G., (2003). Abandonos planificados, rituales de vasijas matadas o de clausura y ocupaciones posteriores. Los sitios del Cerro Barajas, Guanajuato y de Milpillas, en el Malpaís de Zacapu, Michoacán. En: Trace 43 Abandonos de asentamientos prehispánicos e hispánicos. CEMCA, pp. 97-115.
- Morales, J., Fernández-Martínez, G., Gogichaisvilli, A., Cárdenas, E., Hernández-Bernal, M.S., (2015). Archeomagnetic dating of some pre-Columbian pottery fragments from northern Mesoamerica: implications for the chronology of Central Mexico during the Epiclassic period. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 4, 32-43.
- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta, J.M. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *J. Archaeol. Sci.* 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 archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 388, 98-109.
- Somerville, A. (2015). *Leopards, Landscapes, and Social-Environmental Dynamics in Arid North America: Stable Isotope Analysis of Rabbit and Hare Bones from Modern and Archaeological Sites.* Unpublished PhD dissertation, University of San Diego.
- Thellier, E., Thellier, O. (1959). Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.* 15, 285-376.
- Torreblanca-Padilla, C.A. (2015). El Cóporo. Una antigua ciudad bajo la nopalera. IEC, INAH.

Trombold, C., (1985). Conceptual innovations in settlement patter methodology on the northern Mesoamerican frontier. In: Folan, W.J. (Ed.), *Contributions to the Archaeology and Ethnohistory of Greater Mesoamerica*. Illinois University Press, Carbondale and Edwardsville, pp. 205-239 (Cap.7).

Valencia-Cruz, D. (2015). El Cerrito, Querétaro. Asentamiento, sistemas constructivos y sala con columnas. In: Castañeda, C. (Ed.), *Relaciones interregionales en el Centro Norte de Mesoamérica*. INAH, pp. 25-36.

4.2 Juego de Pelota en La Quemada, Zacatecas: Contribuciones cronológicas absolutas mediante el estudio arqueomagnético de fogones asociados

Resumen

Desde el Formativo, el juego de pelota fue una de las actividades más ampliamente distribuidas en todo el territorio Mesoamericano. A pesar de su máximo esplendor en sitios de la zona Maya y Olmeca, este fenómeno ritual y político tuvo una importante expresión arquitectónica dentro de complejo arqueológico de La Quemada (Zacatecas). Con el objetivo de ubicar dicho recinto en un marco cronológico absoluto, se realizó un estudio arqueomagnético sobre dos fogones dentro de cuartos asociados al juego y una cavidad quemada en uno de sus muros. El ejercicio de datación para el primer fogón arrojó un intervalo entre 931 y 1006 d.C. como la mejor estimación de temporalidad para su último uso. Del segundo se obtuvieron dos intervalos (693-947 d.C. y 1463-1623 d.C.) con igual probabilidad y no es posible descartar alguno de ellos. La cavidad quemada mostró un único intervalo entre 757 y 980 d.C. Estas edades corresponderían a la fase La Quemada y su transición a la Fase Ciudadela, que representa el último periodo de actividad en la zona, dejando en desuso los espacios del juego de pelota. Sin embargo, la datación del fogón 2 muestra una posible reocupación en el Posclásico por grupos Zacatecos.

Palabras Claves: Norte de Mesoamérica, Zacatecas, La Quemada, Juego de Pelota, Fogones, Arqueomagnetismo, Datación.

Abstract

From the Formative stage, the ball game was one of the activities more widely distributed throughout the Mesoamerican territory. Despite its maximum splendor at the Maya and Olmec areas, this ritual and political phenomenon reached an important architectural expression within the archaeological complex of La Quemada (Zacatecas). With the aim to establish the absolute chronological framework for the site, we carried out a detailed archeomagnetic survey of associated stoves. Two such hearth stoves and a small burned cavity (orifice) were sampled. The dating exercise for the first hearth stove showed a time interval between 931 and 1006 AD as the best estimate of the temporality of last use. The second hearth stove provides dual ages since both intervals (A.D. 693-947 and A.D. 1463-1623) are possible. The burned cavity shows a unique interval between A.D. 757-980. These ages would correspond to the La Quemada phase and its transition to the Ciudadela Phase, which represents the last period of activity in the area, leaving the spaces for the ball game unused. However, there is a date that shows a possible late occupation (1463-1623), which may suggest a reoccupation in the postclassic period by Zacatecos groups.

Key words: Northern Mesoamerica, Zacatecas, Quemada, Ball game, Hearth stoves, Archeomagnetism, Dating.

INTRODUCCIÓN

El asentamiento prehispánico de La Quemada, se encuentra distribuido por la cima y laderas de un cerro alargado de noroeste a sureste, al centro del Valle de Malpasos. Los antiguos constructores adecuaron y nivelaron el cerro creando grandes plataformas para asentar sobre ellas espacios ceremoniales, habitacionales y administrativos. En la actualidad se reconocen cinco niveles, el más bajo se encuentra en la parte sur del cerro y corresponde a un espacio al que tenían acceso todos sus habitantes. Dos basamentos piramidales conforman la entrada principal de la ciudad. Un gran camino empedrado conduce a la gran plaza donde se celebraban las ceremonias y al Salón de las Columnas. Posteriormente se encuentra el juego de pelota principal y a continuación la gran pirámide Votiva, donde residía la deidad principal del sitio. Dos grandes escalinatas marcan el acceso restringido a un segundo nivel, donde se encuentran áreas habitacionales, ceremoniales y administrativas como El Cuartel, la Plaza de la pirámide y el Conjunto de Los Maestros. En un tercer nivel se ubica una gran plaza rodeada de habitaciones conocida como el Conjunto de Los Maestros. En este lugar sobresale un basamento piramidal, un altar central y amplios salones. El cuarto nivel está conformado por una plaza con altar central y pirámide, rodeada de una banqueta periférica y habitaciones, conocida como la Plaza de los Sacrificios y también un posible salón de columnas (Hers 1995). Finalmente, en un quinto nivel se encuentra la zona de la Ciudadela, es la zona más alta y lejana del núcleo principal, está constituida por una plaza con un altar central, un basamento piramidal y una sala columnaria.

La Quemada tuvo una importante interacción con asentamientos de la Cultura Chalchihuites, como Alta Vista al norte de Zacatecas, la región de los cañones al occidente de Zacatecas, con el Bajío y la región del Tunal Grande. La cerámica conocida como Tepozán se distribuye por estas regiones; sobresale por su compleja iconografía, denotando un intercambio simbólico, lo que convirtió a La Quemada en el centro religioso más importante de la región. Lo anterior se manifiesta en la arquitectura del asentamiento con el basamento piramidal más grande de la zona, tres juegos de pelota, y varias plazas con pirámides. El Salón de Columnas es una estructura que se repite tanto en

Alta Vista, como en El Cópore en Guanajuato. En La Quemada existen tres salones de columnas, espacios donde se concentraba el poder social y religioso, un rasgo arquitectónico que trascendió a Tula con el Palacio Quemado, para el periodo Posclásico Temprano.

La ocupación prehispánica en La Quemada entre los años 300-400 d.C., al 600-650 d.C., es la fase conocida como Malpaso (Jiménez and Darling 2000). Durante esta fase, aparecen las primeras muestras de ocupación en el valle de Malpaso, la cerámica comparte rasgos con la región de Chalchihuites, como los cajetes trípodes tipo *negro inciso esgrafiado* con motivos decorativos sencillos, principalmente geométricos, con una manufactura local (Jiménez 2005; Jiménez and Darling 2000). Durante este periodo Teotihuacán está en su esplendor, cuando la ciudad llega a su máximo crecimiento poblacional y complejidad urbana (Manzanilla 2017). La región del Cañón de Juchipila y los Altos de Jalisco tienen una presencia importante, y son el posible origen de los pobladores de La Quemada.

La fase La Quemada ocurre entre los años 600/650 d.C. al 850 d.C. cuyo inicio está marcado por la caída de Teotihuacán, hecho que impulsa el surgimiento de un centro de poder regional. Durante esta etapa se da el mayor crecimiento arquitectónico en La Quemada, y se consolida como centro de poder en el valle y religioso en la región. La iconografía en la cerámica cambia radicalmente, de los motivos geométricos y representaciones figurativas como en Chalchihuites (Hers 2005). Tanto la cerámica al negativo como la *figurilla tipo 1* se extiende ampliamente por la región de los cañones de Zacatecas, Altos de Jalisco y el Bajío, demostrando la amplia red de interacción social y económica (Jiménez and Darling 2000).

La última fase llamada Ciudadela, entre 850 d.C. al 1000 d.C., ocurre un gran incendio en La Quemada y se produce el abandono del asentamiento (Jiménez and Darling 2000; Lelgemann 1999; Medina 2000) evidenciado por la presencia de vigas carbonizadas cubiertas de grandes fragmentos de techumbres con las improntas de los carrizos y pisos quemados (Jiménez and Darling 2000).

De hecho, el nombre de La Quemada deriva de este incendio y se le relaciona con un mito *Wixárica* que hablaba de una ciudad amurallada que fue destruida por un incendio en el pasado (Weigand 1978).

Un consenso existía entre los investigadores que el fin de La Quemada fue un incendio, no así respecto a cuándo sucedió (Weigand 1978; Jiménez 1994). En esta etapa final, los accesos principales hacia la cima del cerro se habrían cerrado, para impedir el acceso a los reducidos grupos de élite que allí se resguardaban y que habrían perdido el control de la población (Jiménez 2010). Recientes estudios han señalado un abandono gradual del asentamiento, desocupándose en primera instancia la cima del cerro, continuando una ocupación en la parte baja, siendo abandonado por completo algunos años más tarde, lo que debió ocurrir entre los años 900 y 1150 d.C. (López et al. 2019).

El juego de pelota, es uno de los edificios más importantes del asentamiento, y su forma corresponde con la tradicional Mesoamericana. En uno de sus flancos se encuentra el Salón de Columnas con su plaza principal y en otro la pirámide Votiva, lo que constituía un gran espacio público, al que podía acceder cualquier persona a presenciar la ceremonia del juego de pelota. Su fecha precisa de construcción no se conoce, aunque se ha señalado que corresponde a la fase La Quemada, entre los años 600 al 900 d.C., que fue el periodo de mayor actividad constructiva en el asentamiento. A este mismo periodo se atribuye el juego de pelota del sitio de Gualterio de la Cultura Chalchihuites (Kelley 1976).

Varias modificaciones que sufrió el juego de pelota durante su uso han sido identificadas. Una ampliación visible actualmente sobre el cabezal norte, el agregado de una plataforma al cabezal sur que a su vez, presentaba otra aún más temprana en el relleno. Las recientes excavaciones realizadas en el sector sur poniente de esta plataforma anexa sur, reveló un conjunto de habitaciones desplantadas sobre una plataforma, que probablemente corresponden a una etapa previa a la de última ocupación. En el interior de estas habitaciones se encontraron fogones, que podrían ser anteriores o contemporáneos al juego de pelota.

El hallazgo de estos fogones motivó la intervención arqueomagnética, puesto que se trata de estructuras *in situ*, expuestas al fuego y, por tanto, susceptibles de ser datadas por tres elementos (inclinación y declinación magnética, e intensidad absoluta geomagnética), lo que podría aportar dataciones con una mayor precisión.



Fig.1 Ubicación del Juego de Pelota principal de la Zona de Monumentos Arqueológicos La Quemada.

El Juego de Pelota

El juego de pelota fue una de las actividades más ampliamente distribuidas en Mesoamérica, tanto espacial como temporalmente. Se le encuentra en sitios tempranos como los Olmecas del formativo hasta los Mexicas del Posclásico, y espacialmente en las zonas Maya, Oaxaqueña, del Golfo de México, Altiplano Central, Occidente y Norte de México. Es un componente arquitectónico ordenador del espacio al interior de los asentamientos prehispánicos y presenta distintas formas y tamaños. Suele ubicarse entre los edificios principales y su cantidad varía en cada lugar. Tiene un importante carácter ritual o político entre la población, debido a que tenía connotaciones astronómicas donde estaba presente la dualidad cósmica del día y la noche, así como también a asociaciones con la guerra y fertilidad.

Sobre el espacio arquitectónico, se ha señalado una variabilidad de éste, pero normalmente se compone de la cancha, cabezales, muros laterales, marcadores y gradas para el observador. En ocasiones carece de cabezales y suele reducirse a muros laterales únicamente, como se observa en la región del norte de México. En particular, en La Quemada, se conocen tres juegos de pelota: el principal, localizado en la parte pública del asentamiento y dos juegos pequeños, uno en la terraza 18 y otro en La Ciudadela.

Las primeras intervenciones arqueológicas en el juego de pelota principal las realizó Pedro Armillas en la década de los años cincuenta, al consolidar el talud y la escalinata de acceso a la plataforma sur. En la parte superior de esta plataforma se realizó un sondeo que le permitió identificar dentro del relleno otra plataforma y una escalera de una etapa anterior de ocupación (Jiménez 2010).

La zona entre el Salón de Columnas y la Pirámide Votiva, por mucho tiempo se creyó correspondía a un "pasillo ceremonial", sin embargo, John Charles Kelley lo propone como una cancha en forma de "I" latina (Kelley 1971). Posteriormente, Román López y Laura Castañeda realizaron nuevas exploraciones en el Juego de Pelota, como parte de trabajos de mantenimiento entre 1979 y 1980. Una cala a lo largo de la cancha y tres de manera transversal fueron excavadas, encontrándose lajas que conforman el piso

de la cancha, que presentaba un recubrimiento de lodo endurecido y una escalinata adosada en el paramento oeste. Liberan parcialmente la plataforma anexa al sur en su etapa temprana, la cual vuelve a cubrirse.

La última intervención en el juego de pelota, fue realizada por Peter Jiménez, quien sigue el mismo trazo que años atrás habían hecho López y Castañeda. Durante la misma se analiza la estratigrafía y secuencia de pisos, se descubren varios entierros humanos debajo del piso del juego de pelota, y la existencia de un piso por debajo del enlajado (Jiménez 2010).

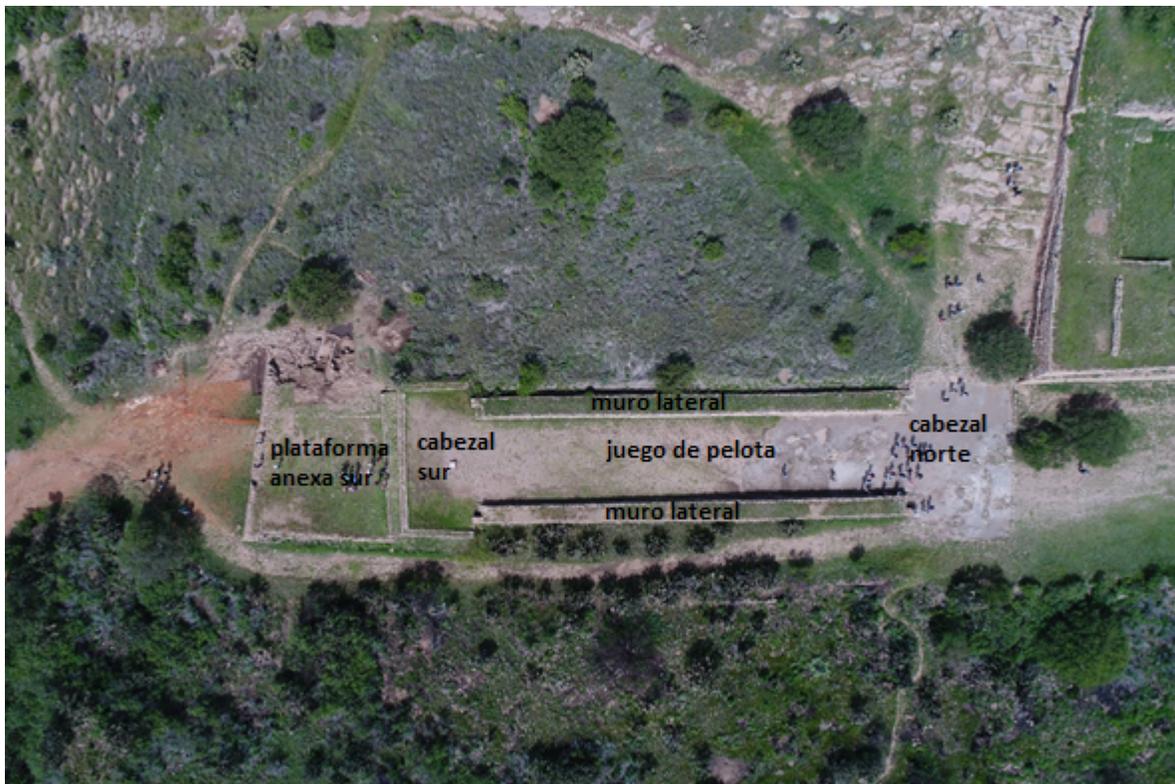


Fig.2 Componentes del juego de pelota: cancha, muros laterales, cabecal y plataforma anexa al sur.



Fig.3 Fogones dentro de cuartos sobre la plataforma y previos a la última etapa de ocupación.

Área de estudio y detalles de las Muestras analizadas

El juego de pelota principal de La Quemada, como se señaló, se localiza en el primer nivel del asentamiento prehispánico, en la parte baja de la ladera sur del cerro (Fig.1). Este consiste en una estructura de aproximadamente 80 metros de largo por 15 de ancho con disposición norte a sur. Sus muros laterales se elevan a una altura de 1.50 metros. Tiene forma de "I" latina, con cabezales en sus extremos norte y sur, acorde con el patrón tradicional mesoamericano. En su extremo sur existe una plataforma anexa, a la que se accede por una escalinata ubicada al sur (Fig.2).

Durante los trabajos de conservación y mantenimiento de la Zona de Monumentos Arqueológicos La Quemada de la temporada 2019, se determinó la excavación de la plataforma anexa sur del juego de pelota, en particular de su sector sur poniente, debido al estado de afectación por el tránsito de visitantes, que había erosionado el terreno,

afectando los contextos arqueológicos y expuesto las que sobresalían del mismo e implicaban un gran riesgo.

Las excavaciones arqueológicas revelaron la presencia de tres cuartos divididos por muros de mampostería y tres fases de ocupación, con base en la sobreposición de elementos arquitectónicos. La presencia de fogones al interior de las habitaciones, como también el hallazgo de un depósito de restos óseos humanos en la parte externa sur de la plataforma y el de un orificio tallado sobre la roca cubierto de ceniza fueron datos relevantes para la realización de este estudio.



Fig.4 Fogón 1, compuesto por lajas de riolita recubiertos por un piso de barro endurecido al interior de una habitación de la plataforma anexa al sur del juego de pelota.



Fig.5 Fogón compuesto una capa de barro endurecido y delimitado por lajas de al interior de una habitación de la plataforma anexa al sur del juego de pelota.

Las dos primeras áreas seleccionadas para la toma de muestra corresponden a dos fogones encontrados dentro del relleno de la última etapa, por lo que corresponderían a una etapa previa (Fig.3). El primer fogón (Fogón 1) está compuesto por lajas que delimitan un orificio sobre el piso de 25 x 15 centímetros por lado y 10 cm de profundidad (Fig.4). El segundo fogón (Fogón 2) presenta una planta circular de 50 cm de diámetro cubierta de lajas y con un recubrimiento de barro en forma semiesférica (Fig.5).



Fig.6 Muro remetido en el extremo poniente de la fachada de la plataforma sur anexa al juego de pelota.



Fig.7 Deposito de restos óseos y una mancha oscura de ceniza en la esquina noroeste del espacio.

La tercer área seleccionada se encuentra en un espacio exterior del juego, donde existía un muro remetido, en el que se halló un depósito de restos óseos secundarios (Fig.6). En la esquina noroeste, tallado sobre la roca madre, se descubrió un orificio de aproximadamente 30 centímetros de diámetro por 9 centímetros de profundidad, que estaba cubierto por una capa de ceniza (Fig.7 y 8). Lo anterior indica, junto con la presencia de algunos huesos quemados, que habían sido expuestos al fuego. Esta estructura se denominó como 'cavidad quemada' debido a que presenta sus características distintas a los fogones.



Fig.8 Orificio tallado (cavidad expuesta al fuego) sobre la roca madre con evidencias de haber sido expuesto al fuego.

Procedimientos experimentales

Se realizó una serie de desmagnetizaciones para obtener las direcciones características (primarias) de la magnetización termorremanente en las muestras y obtener detalles sobre su estabilidad. Las muestras fueron cortadas en especímenes cúbicos de tamaño estándar de 8 cm³ y colocadas dentro de un blindaje magnético de 5 capas durante 15 días para disminuir las magnetizaciones parásitas de origen viscoso. Se midió la magnetización remanente natural (NRM por sus siglas en inglés) con un magnetómetro AGICO JR6 tipo *spinner*. Un total de 44 muestras, fueron sometidas a desmagnetización mediante campos alternos de 10 a 12 pasos con una intensidad máxima de 90 mT, utilizando un desmagnetizador AGICO LDA-5. Después de cada paso de desmagnetización la magnetización remanente fue medida con el magnetómetro. Las direcciones características (ChRM) de cada muestra se determinaron mediante el análisis de componentes principales (PCA; Kirschvink 1980), mientras que las direcciones promedio de cada sitio se calcularon empleando la estadística de Fisher [1953].

Con la finalidad de identificar a los minerales magnéticos portadores de la termorremanencia mediante su temperatura de Curie, se realizaron mediciones continuas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura (también conocidas como curvas k-T) con un susceptibilímetro marca AGICO MFK1. Para ello la muestra fue calentada desde la temperatura ambiente hasta 615°C a un ritmo de 15°C/min en presencia de gas argón para reducir los efectos de la oxidación durante el calentamiento. Posteriormente fue enfriada al mismo ritmo. Las temperaturas de Curie se obtuvieron siguiendo el método de Prevot et al. [1983].

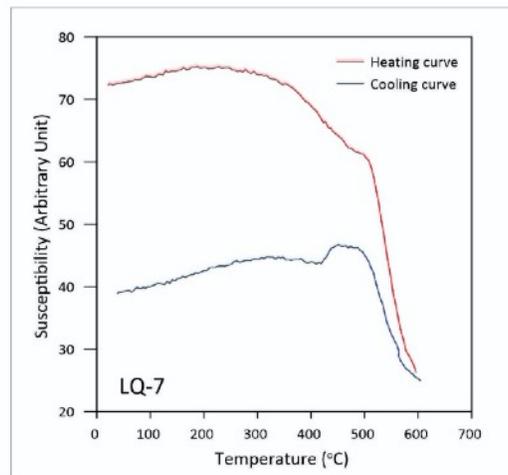
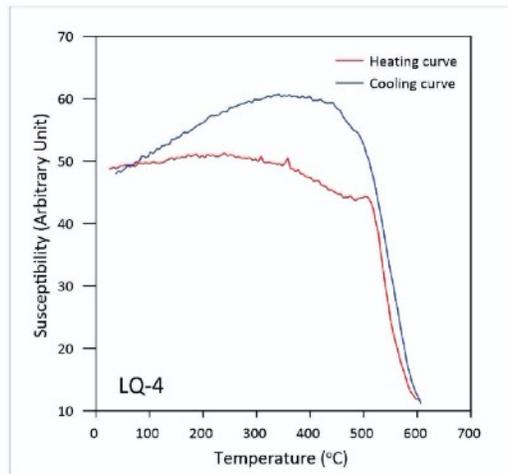
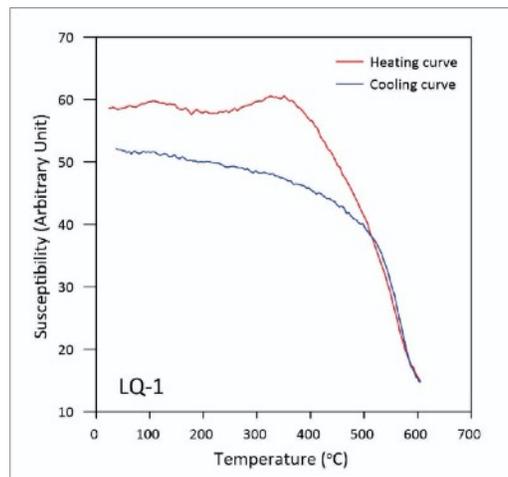


Figura 9. Curvas termomagnéticas continuas: Susceptibilidad magnética en función de temperatura para las muestras de a) Fogón 1. b) Fogón 2 y c) Cavidad quemada. Ver texto para mayores detalles.

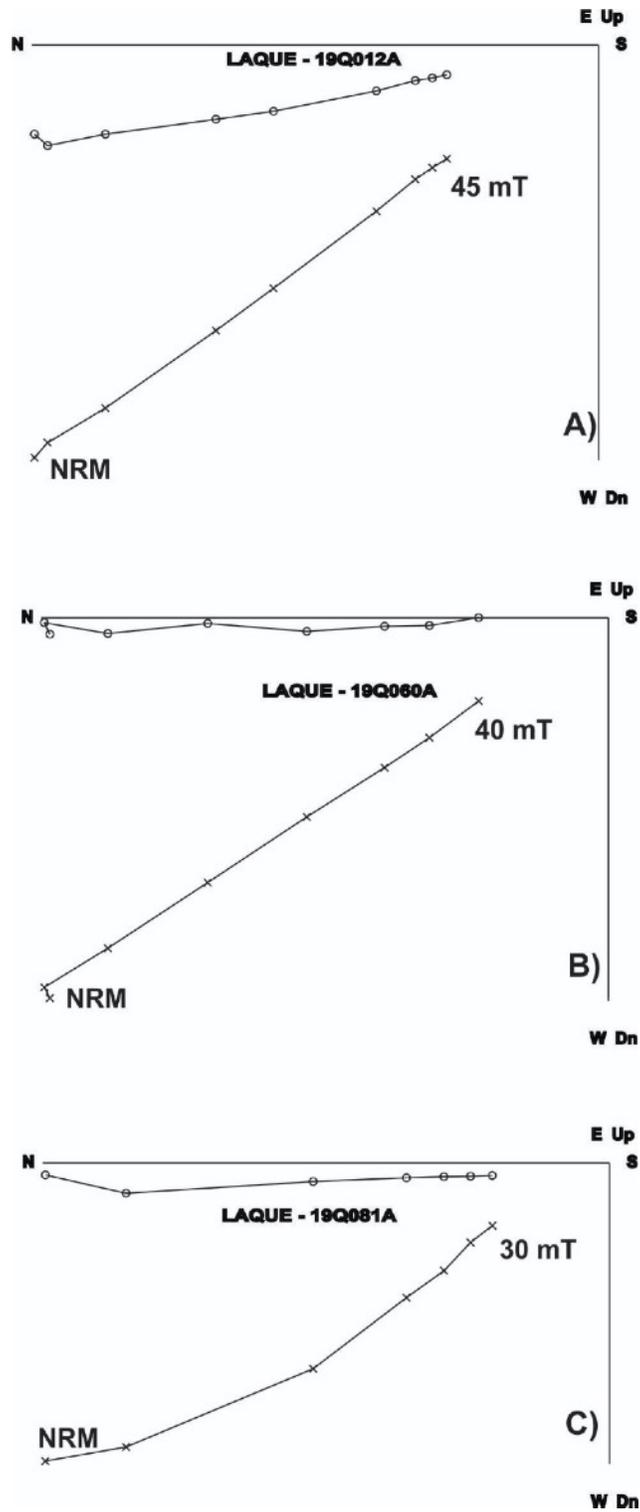


Figura 10. Ejemplo de desmonetizaciones por campo alternos para las muestras representativas de fogones y la cavidad quemada.

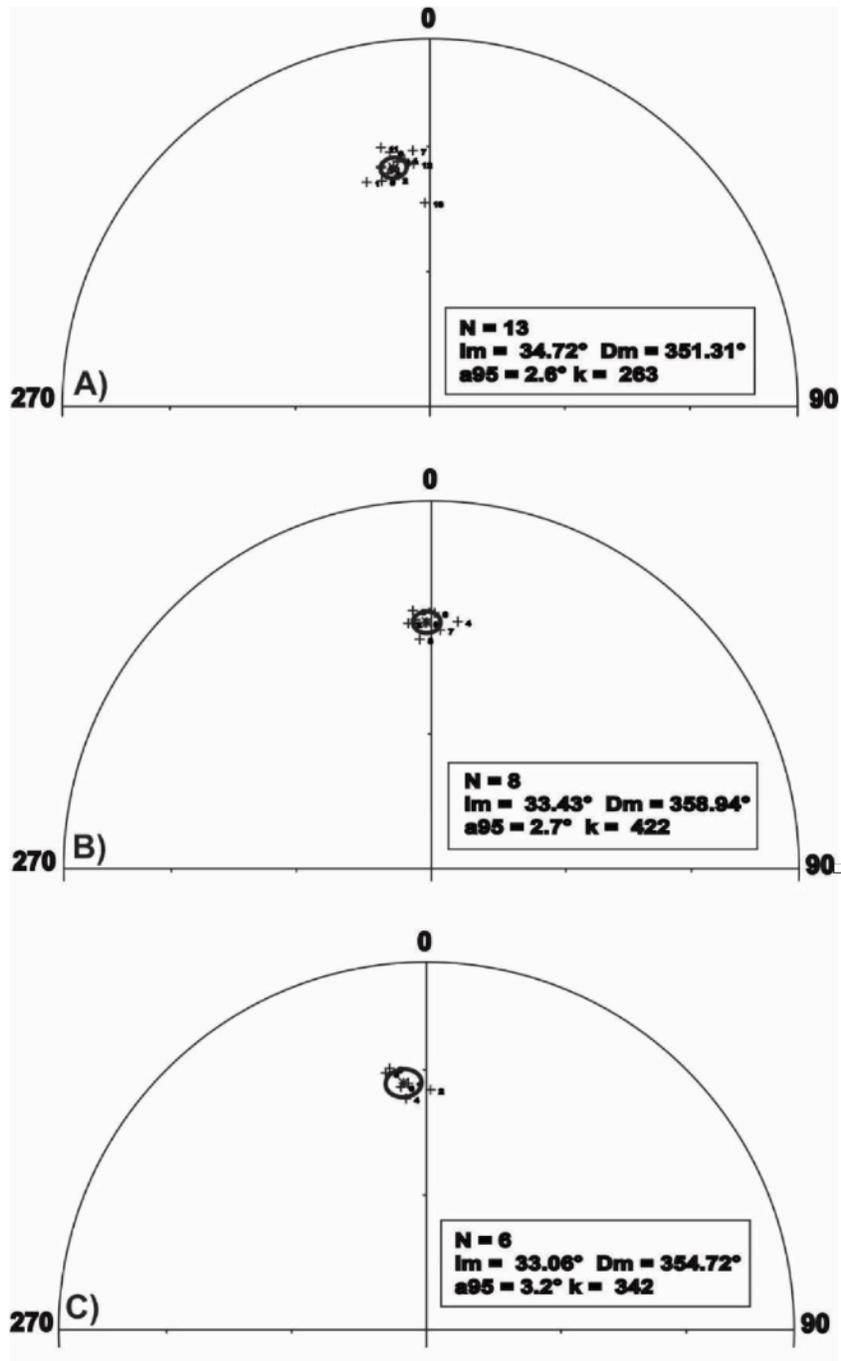


Figura 11. Determinación de las direcciones medias para a) Fogón 1, b) Fogón 2 y c) cavidad quemada.

Principales resultados, discusión y observaciones finales

En las curvas termomagnéticas de las muestras provenientes de los fogones estudiados (Fig. 9), se observa la presencia de una sola fase ferromagnética, con una temperatura de Curie entre los 515°C y 570°C, que correspondería a la titanomagnetita pobre en titanio, muy cercana a magnetita pura. Sus registros de calentamiento y enfriamiento son prácticamente irreversibles y se observa que la mayor transformación ocurre a temperaturas relativamente altas, por encima de 450°C.

Respecto a la determinación de las arqueodirecciones medias, puede apreciarse que las magnetizaciones secundarias no son importantes y fácilmente removibles en los primeros pasos del tratamiento magnético de campos alternos (usualmente entre los 5 y 10 mT). Una vez removida esta componente (muy probablemente de origen viscoso), se observa que todos los especímenes presentan un comportamiento lineal con tendencia al origen (Fig. 10). El valor de campo destructivo medio (MDF por sus siglas en inglés) es de aproximadamente 15 mT, eliminándose más del 90% de la magnetización al aplicar campos de 40 mT (Fig. 10). En todos los casos fue posible aislar las componentes de la dirección de la magnetización remanente característica ChRM mediante el método de componentes principales, con al menos cinco puntos y valores de desviación angular máxima entre 0.6° y 2.4°. Sin embargo, al momento de hacer el cálculo de la dirección promedio, se observó que algunos especímenes tenían direcciones que salían del patrón de agrupamiento, por lo que no fueron incluidas en el cálculo de la dirección media por estadística Fisher [1953]. Esto se debió posiblemente, a que, aunque estos especímenes fueron tomados en distintas partes expuestas del mismo bloque, pudieron sufrir algún desplazamiento o rotación al momento del muestreo.

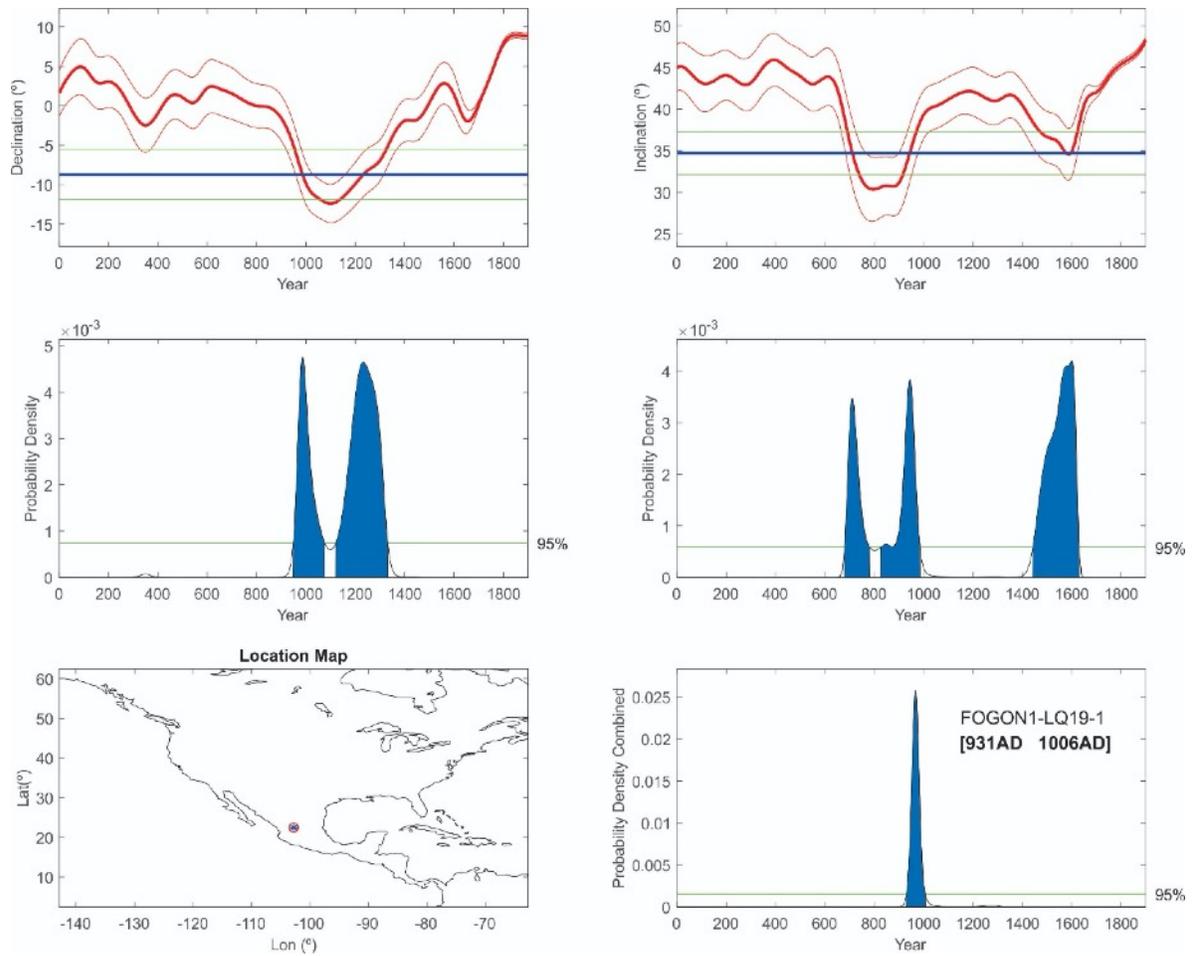


Figura 12a. Datación arqueomagnética del Fogón 1 mediante la plataforma Matlab de Pavón-Carrasco et al. (2011 and 2014).

La dirección media calculada para el Fogón 1 fue $D = 351.3^\circ$, $I = 34.7^\circ$, $\alpha_{95} = 2.6^\circ$, $n/N = 13/16$, donde D es la declinación media, I la inclinación media, α_{95} es el ángulo alrededor de la dirección media dentro del cuál con un 95% de confiabilidad se encuentra la dirección media real, n es el número de muestras empleadas en el cálculo y N su número total. Para el Fogón 2 se obtuvo una dirección media con $D = 358.9^\circ$, $I = 33.4^\circ$, $\alpha_{95} = 2.7^\circ$ y $n/N = 8/12$. Finalmente, para la Cavidad Quemada la dirección media fue de $D = 354.7^\circ$, $I = 33.1^\circ$, $\alpha_{95} = 3.2^\circ$ y $n/N = 6/11$ (Fig. 11). A pesar de que las direcciones medias de tres estructuras estudiadas son similares, optamos por realizar el ejercicio de datación arqueomagnética para cada una de ellas de manera independiente.

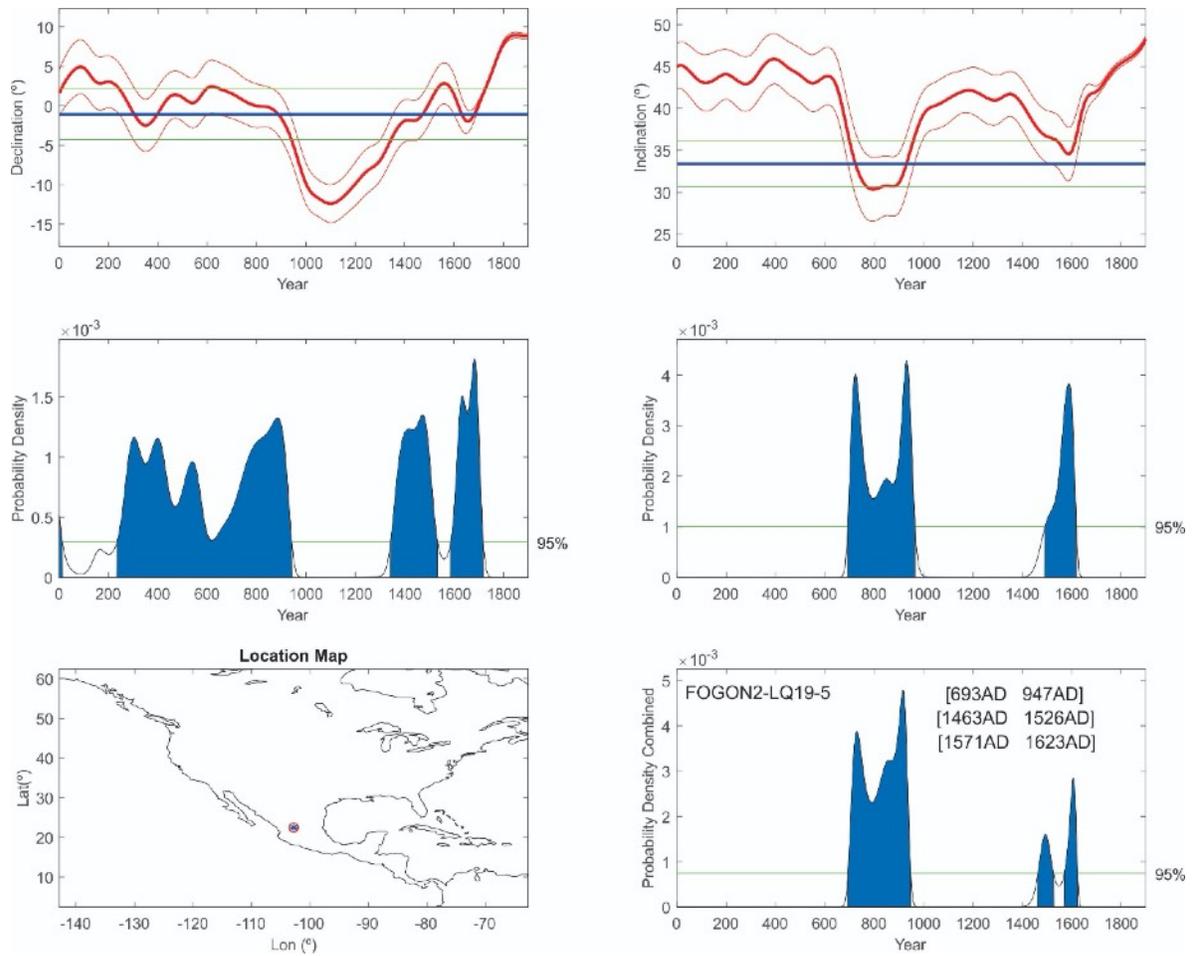


Figura 12b. Ídem para el Fogón 2.

La datación arqueomagnética se realizó a través de la plataforma MATLAB y el modelo SHA.DIF14K (Pavón-Carrasco et al. 2011, 2014) obteniéndose para el Fogón 1 un intervalo de tiempo entre 931 y 1006 d.C., como la mejor estimación de temporalidad de último uso (Figura 12a). Para el Fogón 2 se obtuvieron dos intervalos con igual probabilidad, uno entre 693 y 947 d.C. y otro entre 1463 y 1623 d.C (Figura 12b). Por último, para la cavidad quemada se obtuvo un único intervalo entre 757 y 980 d.C. (Figura 12c).

Para poder realizar un buen ejercicio de datación arqueomagnética deben analizarse los contextos de donde proceden las muestras. En este caso dos de ellos corresponden a fogones dentro de habitaciones dispuestas sobre una plataforma anexa al juego de pelota. El otro es el de una muestra que es una cavidad orificio ubicado en la par-

te posterior de la plataforma. Por lo tanto, dos corresponden a espacios cerrados e interiores y otro a un espacio exterior. El Fogón 1 (muestra 1) contiene un pequeño traslape con el intervalo de la datación del orificio exterior (muestra 3) entre 931 y 980 d.C. En cambio, para la temporalidad del fogón 2, el intervalo de traslape es menor con el fogón 1, entre 931 y 947 d.C. y de 757 y 947 d.C. para la cavidad quemada.

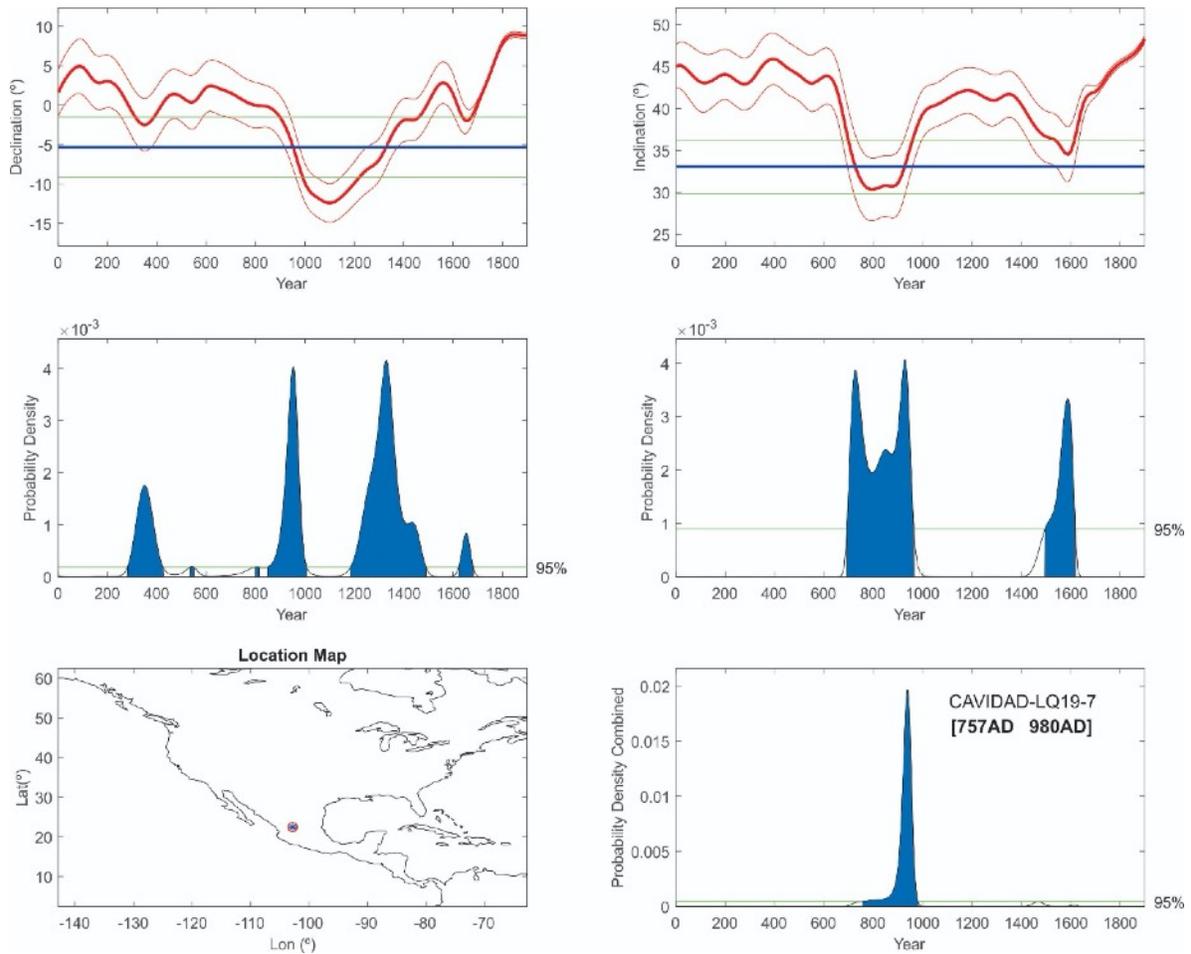


Figura 12c. Ídem para la cavidad quemada.

Además presenta otra datación entre 1463 y 1623 d.C., la que se analizará más adelante. Podemos pensar que la datación de los fogones está determinando la última vez que tuvieron actividad de quema en su interior. Sin embargo, las dataciones entre 931 y 1006 d.C. y entre 693 y 947 d.C., corresponden a la fase La Quemada y su transición a la Fase Ciudadela. Una situación similar se presenta para la cavidad al exterior de la plataforma con su intervalo entre 757 y 989 d.C. Por lo tanto, corresponderían con el último periodo de actividad de la cavidad, espacios respectivos del juego de pelota.

A diferencia de los anteriores análisis arqueomagnéticos (López et al. 2019), en esta ocasión únicamente se detectaron huellas puntuales de combustión, correspondientes a áreas expuestas al fuego, como es el caso de los dos fogones, y no extensivas a todo un espacio como fue para los pisos del pórtico del Salón de Columnas o en La Plaza de los Sacrificios (López et al. 2019). En el caso del orificio al exterior de la plataforma, también es de tipo puntual, ya que solo había ceniza al interior de la oquedad. Al retirar la capa oscura, fue notoria la combustión en el área periférica exterior de la oquedad, tal vez debida a un poste empotrado en el lugar que hubiese servido como antorcha.

Sin embargo, la existencia de una datación relacionada con una posible ocupación tardía, entre los años 1463 a 1623, podría sugerir una reocupación durante el periodo posclásico por grupos Zacatecos. Este fenómeno fue observado en El Cuartel, también por grupos Zacatecos y su temporalidad determinada por medio de una muestra de carbón obtenida de un fogón localizado sobre el derrumbe de una habitación. Lo anterior también se puede apreciar en el tipo de fogón, ya que mientras el fogón 1 es a base de lajas a nivel del piso, el fogón 2, si bien presentaba lajas que delimitaban el espacio, había una capa de barro semi esférica y a un nivel poco más alto que el anterior. Estas características del fogón 2 podrían sugerir un reaprovechamiento del espacio, posiblemente por un grupo de Zacatecos, del cual se sabe habitaban en torno a las ruinas de La Quemada.

Referencias

- Kelley, E. (1976). Gualterio Abajo: An Early Mesoamerican Settlement on the Northwestern Frontier. In *Las fronteras de Mesoamérica, XIV Mesa Redonda Tegucigalpa, Honduras 23-28 de junio 1976 de la Sociedad Mexicana de Antropología*, Tomo 1, pp.41-50, Sociedad Mexicana de Antropología, Mexico City.
- Fisher, R. (1953). Dispersion on a sphere. *Proceedings of The Royal Society A*. 217:295-305.
- Kelley, C. (1971). Archaeology of the northern frontier: Zacatecas and Durango. In *Handbook of Middle American Indians*, edited by Robert Wauchoppe, Gordon Ekholm and Ignacio Bernal, 11: pp.768-805. University of Texas press, Austin.
- Hers, M. (1995) Las salas de las columnas. In *Arqueología del norte y del occidente de México. Homenaje al doctor J. Charles Kelley*, edited by Barbro Danlgren and Ma. De los Dolores Soto de Arechavaleta, pp.93-114. Instituto de Investigaciones Antropológicas-Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City.
- Hers, Marie (2005). Imágenes norteñas de los guerreros Toltecas-Chichimecas. In *Reacomodos demográficos del Clásico al Posclásico en el Centro de México*, edited by Linda Manzanilla, pp. 11-44. Instituto de Investigaciones Antropológicas-Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City.
- Jiménez, P. (1994). La Quemada. *Arqueología Mexicana* 6:45-47.

Jiménez, P. (1994). Proyecto La Quemada. Informe Técnico Temporada II. Oct. 1989 – Oct. 1994. Centro INAH Zac.

Jiménez, P. (2010). La Quemada. Rescate y estudio de un monumento arqueológico. Instituto Zacatecano de Cultura Ramón López Velarde. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jiménez, P. y Darling, A. (2000) Archaeology of Southern Zacatecas: The Malpaso, Juchipila, and Valparaiso Bolaños Valleys. In *Greater Mesoamerica. The archaeology of West and Northwest Mexico*, edited by Michael Foster and Shirley Gorentein, pp.155-180. The University Utah Press, Salt Lake City.

Kirschvink, J. (1980). The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnético data. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 62: 699–718.

Lelgemann, A. (1999). Orientaciones astronómicas y el sistema de medidas en La Quemada, Zacatecas, México. *Indiana* 14: 99-125.

López-Delgado, V., Goguitchaichvilia, A., Torreblanca, C., Cejudo, R., Jiménez, P., Morales J. y Soler-Arechalde, A.M. (2019) La Quemada: Decline and abandonment in two stages on the classic period northern frontier of Mesoamerica. *Journal of Archaeological Science: Reports* 24:574–58.

Manzanilla, L. (2017). *Teotihuacán. Ciudad excepcional de Mesoamérica. Opúsculos*, El Colegio Nacional, México.

Medina J. (2000). *El paisaje ritual en el Valle de Malpaso*. Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Pavón-Carrasco, F., Rodríguez-González, J., Osete, M. y Torta, J. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science* 38:408-419.

Pavón-Carrasco, F., Osete, M., Torta, J. y De Santis, A. (2014). A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters* 388: 98-109.

Prevot, M. , Mankinen, E., Grommé S. y Lecaille, A. (1983). High paleointensities of the geomagnetic field from thermomagnetic study on rift valley pillow basalts from the mid-Atlantic ridge. *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 88: 2316-2326.

Weigand, P. C. (1978) *La prehistoria del Estado de Zacatecas: Una interpretación*. In *Anuario de Historia*, No.:pp.203-248, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas.

Capítulo 5

Estudio arqueomagnético del piso quemado en La Palma, Valle de Cuzalapa, Sierra de Manantlán (Jalisco): Implicaciones arqueológicas y geomagnéticas.

Resumen

Las primeras exploraciones arqueológicas realizadas por el proyecto Arqueología de la Sierra de Manantlán, en el valle de Cuzalapa, al sur de Jalisco, arrojan datos sobre la ocupación prehispánica de esta región hasta ahora poco estudiada desde el punto de vista arqueológico. El hallazgo de varios sitios de arquitectura y manifestaciones grafito-rupestres plantean la cuestión de la profundidad temporal de estos vestigios. Las condiciones complicadas para el trabajo de campo y la escasez de artefactos diagnósticos han complicado la construcción de una cronología. En este sentido, la posibilidad de datar arqueomagnéticamente un piso de estructura sencilla en el sitio de La Palma, aún tratándose de una datación aislada dentro del conjunto de evidencias registradas, permite ubicar tentativamente la ocupación del valle de Cuzalapa en el Posclásico Temprano y esbozar una primera interpretación de las dinámicas culturales posibles en el contexto extrarregional del desarrollo de la red Aztatlán.

Palabras clave: Arqueología, Sierra de Manantlán, Cuzalapa, Arqueomagnetismo, Posclásico Temprano.

Abstract

The first archaeological explorations carried at the Sierra de Manantlán, in the Cuzalapa valley (south of Jalisco), show unambiguous evidence for the pre-Hispanic occupation of this still archeologically unknown region. The discovery of several architectural sites and rock-graphic manifestations raise the question of the absolute chronology of these remains. Under unfavorable fieldwork conditions and in absence of associated charcoal and other diagnostic artifacts, archaeomagnetic investigation of a well-preserved burned floor at la Palma site may largely contribute to the absolute chronology. This may also allow to tentatively locate the occupation of the Cuzalapa valley in the Early Postclassic and to outline a first interpretation of the possible cultural dynamics in the extra-regional context of the development of the Aztatlán network.

Keywords: *Archaeology, Manantlan Mountains, Cuzalapa, Archaeomagnetism, Early Postclassic.*

Antecedentes

Si bien la Sierra de Manantlán se inscribe en un área arqueológica conocida como “Occidente de Mesoamérica”, la cual se constituye de numerosas regiones con problemáticas culturales específicas (Cabrero 1985, Schönndube 1994, Williams 1996), se consideran principalmente aquí los antecedentes de la investigación en la parte sureña del Estado de Jalisco, para los fines de la presente investigación. La década de los años 1940 marca los inicios de la investigación arqueológica en el Occidente de Mesoamérica, con la IV Mesa Redonda de la SMA en 1948 y, en particular, para la arqueología del sur de Jalisco con las publicaciones de Isabel Kelly de 1945 y 1949.

Desde los trabajos pioneros de Kelly se tiene conocimiento de la presencia de vestigios arqueológicos (en gran mayoría se excavaron contextos funerarios) en los valles de Autlán-Tuxcacuesco. A partir de recorridos de superficie relativamente extensos y breves excavaciones en algunos sitios de la región, Kelly ha identificado 43 sitios en el valle de Autlán, y 70 en la zona de Tuxcacuesco; pero su estudio se enfocó principalmente en establecer una primera clasificación de complejos crono-cerámicos, bastante acertada, aunque para la época no contaba con la técnica de datación al carbono 14 (y menos arqueomagnetismo). Identificó tres complejos para la zona de Autlán y tres más para la zona de Zapotitlán (parte oriental), estableciendo una primera propuesta cronológica para la región, con una ocupación continua desde el Preclásico Tardío, hasta el Posclásico Tardío.

De su diario de campo (Kelly 1940), se sabe que realizó una corta incursión al Valle de Cuzalapa en el invierno de 1940, cuando identifica el sitio “Potrero los Zapotes”¹ y “tiestos espantosos sin decoración, pero aparentemente representan la cultura local”. En otras palabras, las evidencias arqueológicas del Valle de Cuzalapa no llamaron la atención de la antropóloga, y es importante precisar que hasta la fecha no existen antecedentes de investigación para el territorio que corresponde a la Sierra de Manantlán, ni al Valle de Cuzalapa. Los únicos indicios que revelan la presencia de vestigios se en-

¹ Sitio número 6 en el registro del proyecto, el cual se caracteriza por la presencia de un montículo en parte arrasado (actualmente tiene 0,5m de altura conservada). Lo interesante es que Kelly menciona una altura original de 1m al momento de su visita.

cuentran en un libro de divulgación del cronista del municipio de Cuautitlán de G.B. (Vargas 2015) en el que se comentan algunas fotografías de petrograbados como una evidencia de ocupación prehispánica en el municipio. En el marco de exploraciones espeleológicas en la parte oriental de la RBSM, Lazcano (1988) menciona la presencia de artefactos, precisando que las piezas fueron revisadas por parte de arqueólogos, pero no aparece ningún registro INAH al respecto.

Al observar regiones aledañas se tienen como punto de comparación más cercano algunas publicaciones de proyectos puntuales llevados a cabo en la provincia de Cihuatlán (Costa del Pacífico) en los años 60 y 70 (Long and Wire 1966, Meighan 1972, Beltrán 1991, González y Beltrán 1998). Constan la presencia de asentamientos sencillos y concheros, aportando datos interesantes sobre la cultura material y caracterización de actividades de subsistencia, con dataciones de carbono 14 e hidratación de obsidiana que confirman una larga ocupación, desde el Preclásico hasta el Posclásico. Recientemente, se han registrado por parte del INAH Jalisco sitios de manifestaciones grafico-ruprestres en la cuenca alta del río Corcovado (Ladrón de Guevara 2018), denotando la importancia de esta fuente iconográfica para la región, con motivos inscritos en una larga tradición panmesoamericana.

Los demás conocimientos arqueológicos provienen de proyectos desarrollados en regiones vecinas, separadas por sierras y montañas: pasando la Sierra de Tapalpa, desde los años 90's el proyecto Cuenca de Sayula (UDG-IRD-INAH), con una problemática regional, constituye probablemente el mayor aporte de información arqueológica, a nivel cronológico y sobre cuestiones de desarrollo societal (Valdéz *et al.* 2005, Liot *et al.* 2006). Conforman un punto de comparación directa para el estudio de los procesos y fenómenos arqueológicos por investigar en Manantlán. También las investigaciones de Joseph Mountjoy en Tomatlán y Mascota (1994, 2000, 2008, 2012, entre otras) aportan conocimientos muy valiosos, desde Nayarit hasta Colima, en particular sobre la identificación de dos fases que este autor considera como las más importantes en cuanto a desarrollo cultural de la Costa: la cultura Capacha durante el Formativo Medio y su continuidad en las culturas de tumba de tiro, y la fase Aztatlán y la implementación de una gran red político-comercial durante el Posclásico Temprano (Solar y Nelson 2019).

Hacia el sur, los valles de Colima también conservan huellas de una ocupación prehispánica importante, donde se encuentran de nuevo las mismas dos principales fases crono-culturales: en términos de tradiciones funerarias para las culturas Capacha y tumba de tiro (Kelly 1978 y 1980, Furst 2000, Olay et al. 2010) y para el Posclásico, con los sitios de El Chanal y La Campana, (Olay Barrientos 2004a y b) que caracterizan un notable desarrollo cultural y urbano.

Para sintetizar, los proyectos arqueológicos desarrollados en el Occidente, tanto en el centro-sur de Jalisco, como en la Costa y en Colima, son de cortes muy diversos: desde investigaciones pioneras de mediados del siglo XX a escala regional o enfocadas en un sitio particular, excavaciones puntuales por parte de universitarios, proyectos de conservación del INAH, e investigaciones de corte regional como en Sayula y Tequila. Destacan dos momentos de desarrollo cultural más estudiados: el Formativo Medio y Tardío al principio de la cronología mesoamericana, y el Posclásico hasta el final. Resulta que para las fases intermedias no hay tanta información y a menudo se considera principalmente como el periodo de tradiciones cerámica rojo sobre bayo, “all that stuff between the Shaft Tomb or Tuxcacuesco tradition and the Aztatlán horizon” (Mountjoy 2000).

En ese contexto, la Sierra de Manantlán constituye un territorio intermedio inexplorado, cuya investigación permitirá consolidar el entendimiento de problemáticas regionales desarrolladas en los valles centrales, la cuenca de Sayula y la Costa del Pacífico. Considerando los avances y problemáticas de los contextos extrarregionales, el estudio de la ocupación prehispánica en el Valle de Cuzalapa se plantea en términos de dinámica cultural local y su nivel de integración en esferas y redes extrarregionales. Las primeras exploraciones en el sitio de La Palma, por ende, sigue el objetivo de determinar temporalidades de ocupación, y caracterización arquitectónica.

Exploración de reconocimiento

Con el principal objetivo de contribuir al conocimiento del pasado prehispánico del sur de Jalisco, a través del estudio de los vestigios y evidencias arqueológicas conservadas en la *Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán (RBSM)*, la primera temporada del *Proyecto Arqueología de la Sierra de Manantlán (PASM)* arrojó resultados preliminares a partir de los cuales se implementan bases para conocer y valorizar el patrimonio arqueológico en esta región. En particular, se exploró el Valle de Cuzalapa, ubicado en la vertiente sur de la Sierra de Manantlán, en el cual se identificaron nueve sitios de distintas naturalezas, desde petrograbados aislados hasta conjuntos arquitectónicos sencillos.

Algunos de los sitios identificados durante los recorridos de superficie se caracterizan, en particular, por la presencia de estructuras alargadas, de 23 a 28 m de largo, por aproximadamente 15 m de ancho y, para las mejor conservadas, hasta 1.5 m de altura. Muy pocas evidencias de mampostería son visibles en superficie, aunque varios testimonios de lugareños mencionan acomodos específicos de piedras careadas (lamentablemente estas observaciones se lograron al momento de destruir los montículos por actividades agrícolas).

Asociadas a estos montículos, a menudo se registraron estructuras cuadradas sencillas (cimientos de piedras) y petrograbados. Son estos los elementos que conforman los elementos de patrón de asentamiento singular, nunca registrado antes en la región. El primer recorrido de superficie permitió identificar en el valle quince montículos, de los cuales 60% ya ha sido arrasado o parcialmente rebajado, y todos tienen en común por lo menos un pozo de saqueo. Los recorridos no se pueden llevar a cabo de manera sistemática, sino en función de los accesos otorgados por parte de los habitantes, lo que deja pensar que existieron más montículos y que acorde a informantes, se podrán registrar por lo menos 11 más en recorridos futuros.

Para indagar en la caracterización arquitectónica y cultural de estos asentamientos, se dio la posibilidad de excavar dos sondeos en el sitio de La Palma, conformado por un montículo principal asociado a varias estructuras sencillas, cuyo estado de conservación propició la obtención de datos sobre el sistema constructivo del conjunto, y

sobre la ubicación cronológica de este desarrollo cultural prehispánico desconocido. En uno de los sondeos se identificó un fragmento de piso de tierra quemada, para el cual se llevó a cabo un proceso de análisis y datación por medio de arqueomagnetismo. En este artículo se presenta una síntesis de los resultados obtenidos al respecto.

La Palma, un sitio prehispánico en el Valle de Cuзалapa

En Manantlán, los primeros trabajos de campo llevados a cabo en 2018 se concentran principalmente al suroeste de la RBSM, en el área del Valle de Cuзалapa, en donde informantes locales apoyaron en ubicar y registrar evidencias, en un contexto particularmente desfavorable e inseguro². En el Valle de Cuзалapa, se llevaron a cabo recorridos de superficie puntuales que permitieron registrar nueve sitios, correspondiendo a vestigios de distintas categorías (rupestre, arquitectura prehispánica y moderna). El patrón de asentamiento en el valle parece caracterizarse, por lo menos desde los primeros resultados obtenidos, por una ocupación de tipo dispersa continua (Pomedio *et al.* 2019), conforme a descripciones de fuentes etnohistóricas (Acuña 1988).

El sitio de la Palma es el tercer sitio registrado en el valle, y su estado de conservación sobresalió, en comparación con los demás sitios de arquitectura prehispánica, en su gran mayoría destruidos por actividades y maquinaria agrícola. Para los habitantes del valle, el lugar llamado “La Palma” abarca una amplia zona ubicada hacia el noreste de la comunidad de Cuзалapa, por lo que el sitio se divide en cinco sectores dispersos sobre un área 2,5 kilómetros a lo largo del arroyo Las Tablas, el cual corre de norte a sur (Fig. 1). Este sitio comprende tres conjuntos de elementos arquitectónicos (sector 1, 2 y 4) y siete manifestaciones grafico-rupestres, asociadas o no a elementos arquitectónicos, repartidas en los sectores 1, 3 y 5.

² Se refiere a la presencia de alta delincuencia, criminalidad y actividades ilícitas vinculadas al narco-tráfico.

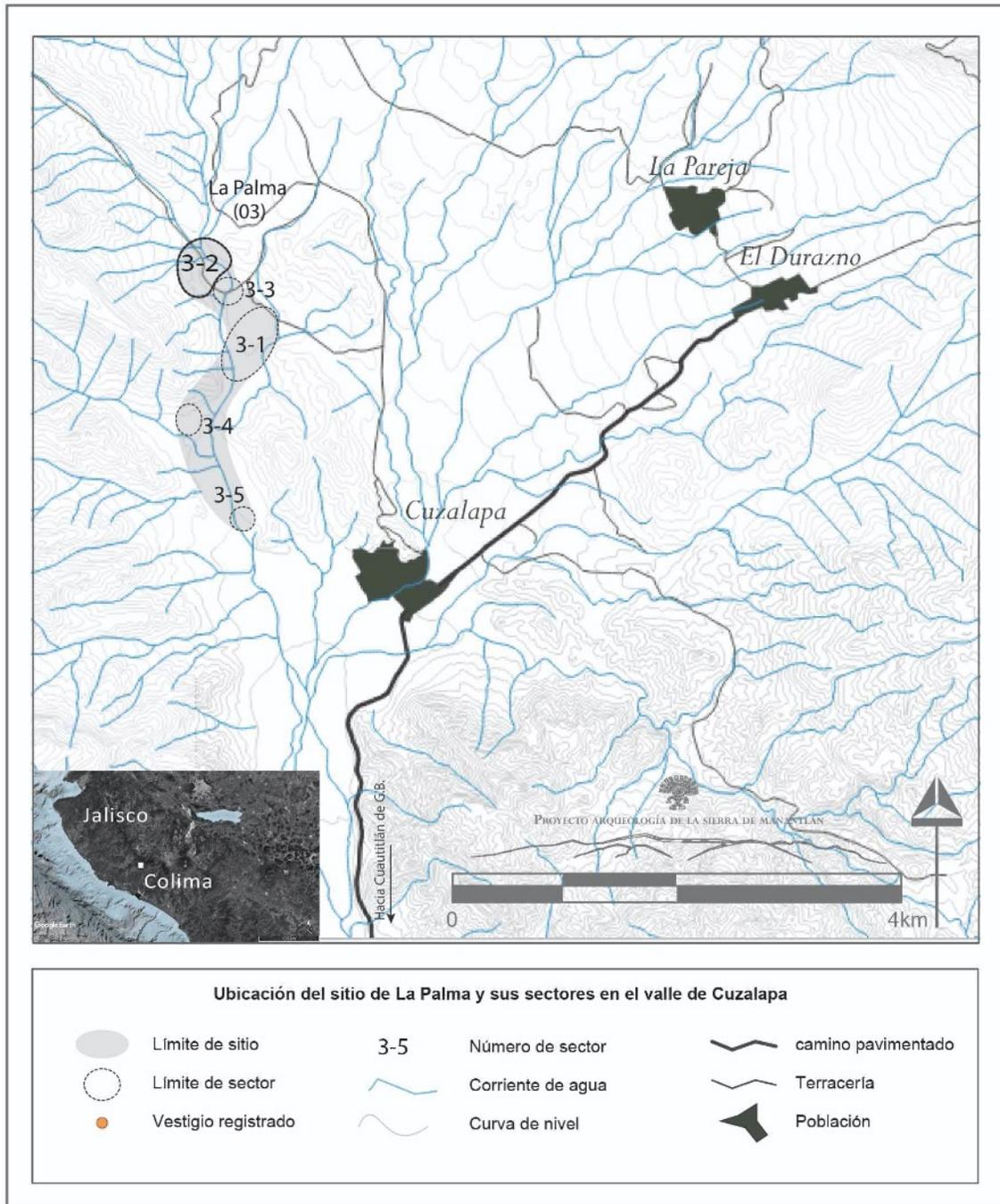


Fig.1: Ubicación del sitio de La Palma y sus sectores en el Valle de Cuzalapa

A diferencia de todos los demás sitios y sectores explorados en el valle, aquí la gran mayoría de las evidencias arquitectónicas están conservadas y no se han destruido aún por obras agrícolas. Así, se han geolocalizado 6 montículos de distintos tamaños y estados de conservación, siendo el más característico y mejor conservado el montículo 6,

ubicado al centro de la planicie. Sin embargo, este montículo presenta, al igual que los demás, un pozo de saqueo de 7m de largo por 2m de ancho en el centro³. Asimismo, en el sector 2 se han registrado 11 cimientos de estructuras cuadrangulares sencillas, y varios otros alineamientos esparcidos a los alrededores de los montículos.

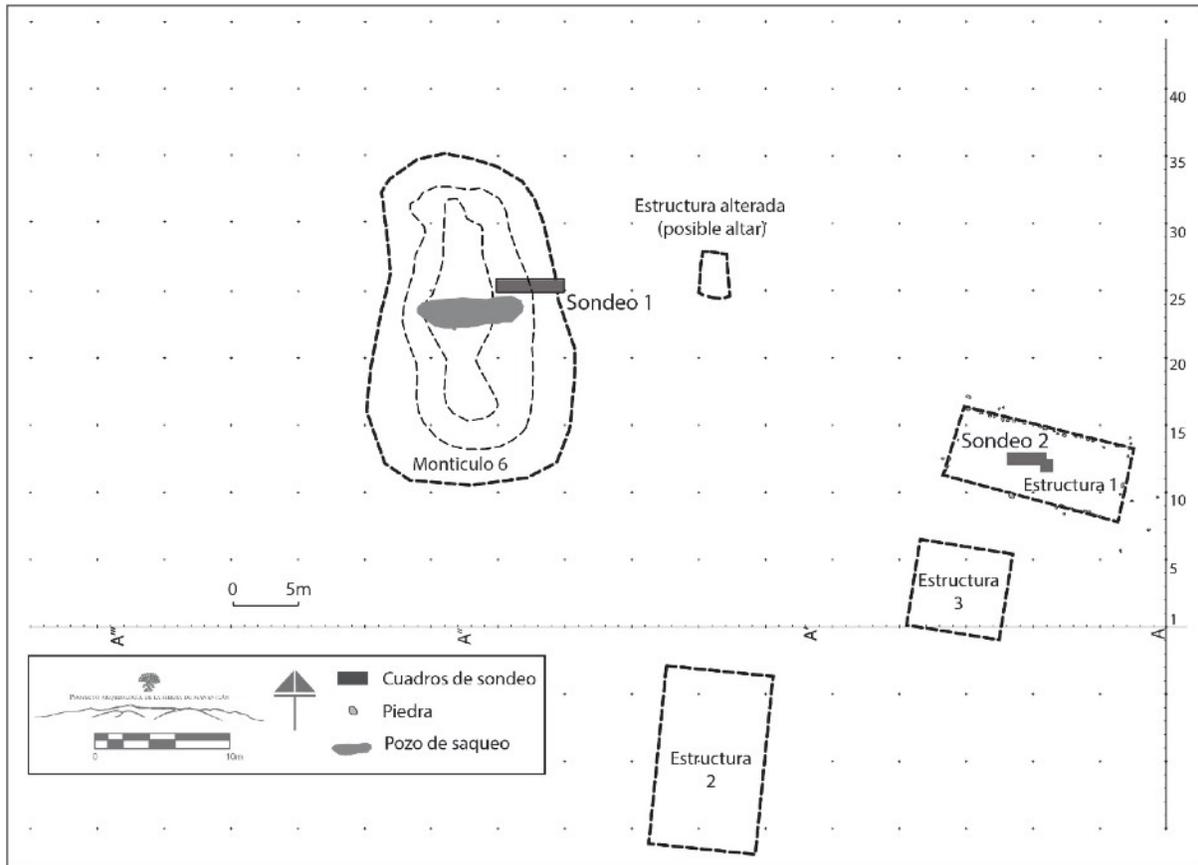


Fig.2: Croquis de la zona de excavación y ubicación de los sondeos 1 y 2

Como se ha mencionado, un mejor estado de conservación motivó la excavación de dos sondeos en el sector 2, para evaluar el potencial arqueológico de la zona, y obtener primeros datos sobre la cultura material, las técnicas arquitectónicas y elementos para implementar una ubicación cronológica del asentamiento. El terreno en donde se en-

³ De ahí la cita introductoria.

cuentran los vestigios está en un plano elevado y delimitado por elementos que le confieren un ligero sistema “defensivo” natural: al oeste y norte por un meandro del arroyo conocido como “las Tablas” por los locales y mencionado como “el Cafetal” en la carta topográfica del INEGI (E13B22), el cual marca un desnivel de varios metros hacia abajo; y al este por las primeras elevaciones de la Sierra de Manantlán: los cerros La Ocotera de Enmedio y Changavillancito. El área así delimitada forma un plano de aproximadamente 5 hectáreas; fue cultivada con arado para maíz en decenas anteriores y ahora se usa como potrero.

La zona del levantamiento y excavación corresponde al centro del sector 2, en la pequeña planicie que conforma la parcela. El área comprende el montículo 6, así como 3 estructuras rectangulares ubicadas a proximidad, visibles por alineamientos de piedras que conforman sus cimientos. Además, se localizó una pequeña estructura a 10 m al este del montículo, la cual pudiera interpretarse como un altar, aunque en realidad no hay certeza sobre la función original de esta construcción (Fig. 2). Se abrieron 2 sondeos: uno ubicado en el montículo principal del área, registrado como “Montículo 6” y el segundo en el centro de una estructura ubicada a 30 m hacia el este, registrada como “Estructura 1” (Fig. 3). Si bien el sondeo en el montículo 6 se motivó para obtener primeros datos sobre el sistema constructivo de lo que parece haber sido los edificios más importantes entre los asentamientos del valle, el sondeo de la estructura 1 tenía como objetivo obtener una secuencia estratigráfica y una muestra de artefactos que permitieran caracterizar la cultura material local. La trinchera realizada en el montículo 6 reveló la presencia de bases de 4 muros paralelos, marcados por alineamientos sencillos de piedras, cuyos desplantes aparecen a distintas alturas, correspondiendo probablemente a un sistema de escalones. Sin embargo, los datos obtenidos para el montículo 6 generan más preguntas que respuestas en cuanto al sistema constructivo de la plataforma (Pomedio et al. 2019: 95-102), los datos obtenidos en la estructura 1 aportan elementos relevantes en cuanto a la problemática cronológica del proyecto.



Fig.3: Vista de la estructura 1 y en un segundo plano del montículo 6, vistos desde el este.

Características de la estructura 1

La estructura 1 corresponde a alineamientos de piedras que forman un rectángulo alargado, de 12m de largo por 5m de ancho, orientada E/O, con una desviación de aproximadamente 10° N/E (Fig. 4). La pared norte parece haber sido continua, mientras que probablemente, varios accesos pudieron existir en las paredes E, O y S. Estos alineamientos de piedras pudieran interpretarse como los cimientos de muros de bajareque, similares a varios ejemplares etnográficos registrados en la región costa (Kelly 1940, Zepeda 1998)

El sondeo 2 de la estructura 1 se ubica al centro de la estructura, y tiene una extensión original de 3m sobre 1m, dividido en 3 cuadros alineados en el sentido E/O. Por la naturaleza de los vestigios encontrados en la esquina S/E (el fragmento de piso quemado), se amplió la extensión del sondeo con un cuarto cuadro de 1m sobre 1m (véase Fig. 4). Debajo del nivel del piso, se encontraron en la esquina N/O del sondeo y, a 3m de dis-

tancia hacia el centro de la estructura, grandes piedras bolas cuyo acomodo dejan pensar que pudieron servir para sostener bases de postes. La ubicación de estas piedras en la alineación del eje central E/O de la estructura viene reforzar esta hipótesis (véase Fig. 4).

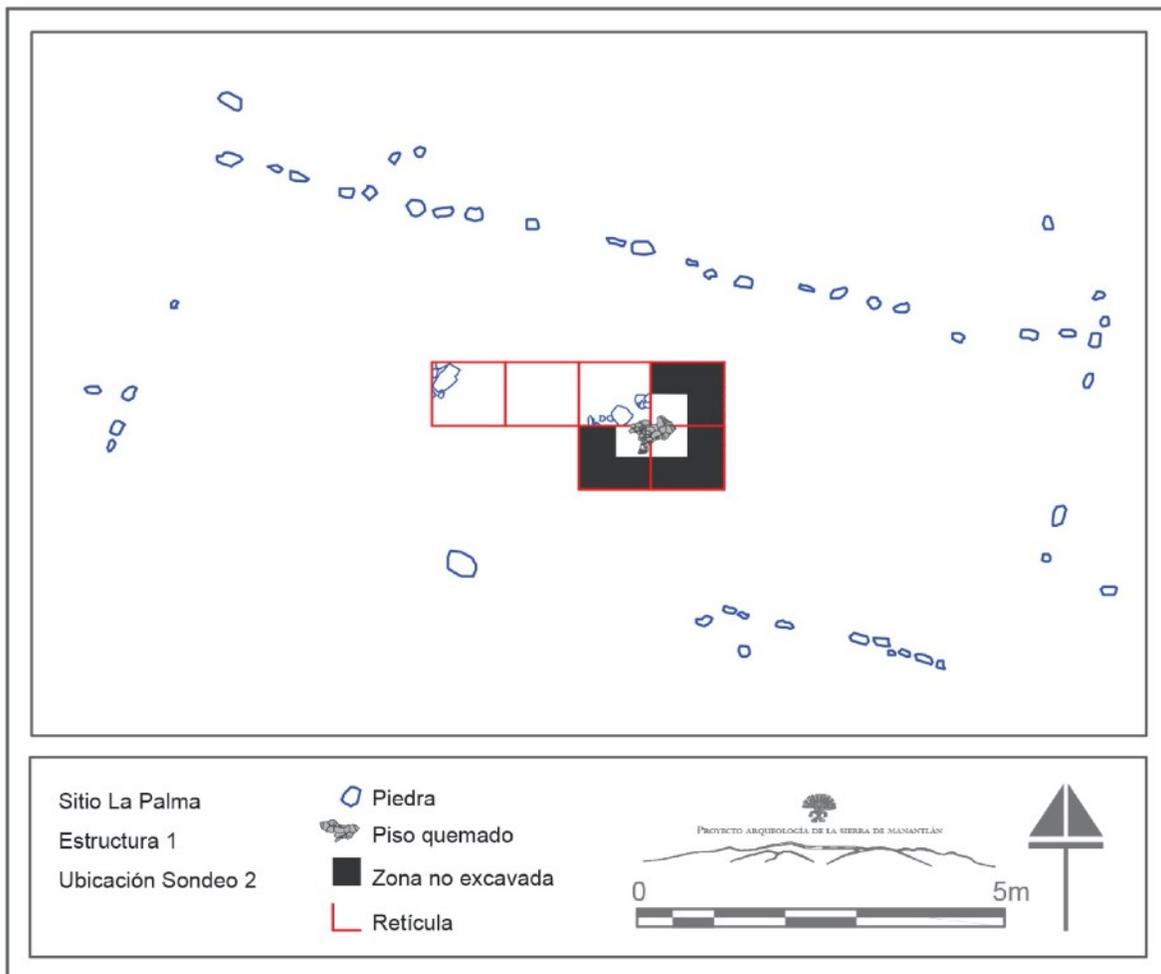


Fig.4: Estructura 1, levantamiento topográfico de superficie y ubicación del sondeo 2.

De manera general en este sondeo, se obtuvo una estratigrafía sencilla, con la identificación de un solo nivel de ocupación debajo de la capa removida por el arado, materializado por un cambio de unidad estratigráfica muy tenue en el 80% del sondeo, debido a la presencia de perturbaciones post-deposicionales. Sin embargo, hacia el ex-

tremo sureste, el nivel aparece muy claramente gracias a que el suelo o nivel de piso se conservó después de haber sido quemado, en una superficie aproximada de 50cm².



(a)

(b)

Fig.5: El piso quemado al momento de su identificación en la esquina S/E del sondeo (a); vista general (b)

El piso quemado se caracteriza por color café rojizo a grisáceo medianamente oscuro, muy compacto, de aproximadamente 13cm de espesor (Fig. 5). Su extensión máxima alcanzó 60 cm en sentido N/S y 64cm en sentido E/O, aunque no se conservó de manera continua. Su aspecto es agrietado y presenta varios pequeños hoyos circulares que no hemos podido interpretar. La observación minuciosa del piso y de sus límites nos llevó a pensar que, tal vez, la huella de forma sub-circular que se puede observar en su límite norte pudiera corresponder a una huella de poste de madera, el cual al quemarse hubiera quemado el piso alrededor. Sin embargo, no se encontró evidencias de ceniza o carbón que pudiera comprobar esta hipótesis, y es posible que esta huella tenga otra explicación. Tampoco la extensión del sondeo permitió identificar la presencia de un fogón a proximidad, por lo que la presencia y extensión de este piso quemado no tiene aún una explicación comprobable.

En la Unidad estratigráfica directamente asociada al piso, registramos un nivel de ocupación con una densidad mediana de artefactos cerámicos y líticos sencillos, sin lograr obtener una muestra con elementos decorados o diagnósticos que permitan ubicar temporalmente la ocupación. La mitad de la muestra cerámica lo componen tepalcates

de ollas sencillas, y los escasos fragmentos de vajilla con engobe rojo no presentan características comparables con tipos identificados. Es interesante notar que la obsidiana no es la materia prima más abundante para la lítica tallada, hasta se puede considerar como escasa, ya que solamente se registraron 5 fragmentos. 4 corresponden a lascas y un solo fragmento corresponde a un cuchillo sobre navaja prismática. Esto sugiere que su abastecimiento no era evidente para los habitantes del valle, quienes buscaron producir herramientas talladas a partir de la materia prima local, como cantos rodados y basaltos, a partir de los cuales se han recuperado 55 artefactos correspondiendo a lascas y raspadores.

Tomando en cuenta la escasez y mala conservación del material lítico y cerámico recolectado en este sondeo, el principal logro finalmente radica en la recolección de una muestra del piso quemado, de manera a obtener un fechamiento arqueomagnético.

Estudio Arqueomagnético

Procedimiento experimental

La naturaleza magnética de los minerales presentes en las muestras extraídas *in situ* del piso quemado fue determinada empalando una Balanza de Curie de traslación a campo variable (VFTB por sus siglas en inglés), los experimentos se realizaron en el laboratorio del Servicio Arqueomagnético Nacional (SAN). Estos experimentos tienen la finalidad de identificar los principales portadores magnéticos, su estado de dominio y la estabilidad termomagnética. Estas mediciones incluyeron: a) curvas de adquisición progresiva de magnetización remanente isotermal (IRM por sus siglas en inglés), b) ciclos de histéresis magnética aplicando hasta 0.75 T, c) curvas de campo opuesto (también conocidos como curvas *Back Field*) y d) curvas termomagnéticas continuas hasta los 610 ° C. Las temperaturas de Curie de las curvas termomagnéticas se determinaron con el método de doble tangente de Grommé et al. (1969). Los parámetros de histéresis magnética como la magnetización remanente a saturación (M_{rs}), la magnetización a saturación (M_s) y el campo coercitivo (H_c) se obtuvieron de las curvas de histéresis después de rea-

lizar la corrección por fracción paramagnética y/o diamagnética. El campo coercitivo remanente (H_{cr}) se determinó a través de las curvas obtenidas mediante la aplicación de campos magnéticos opuestos.

La magnetización remanente natural (NRM por sus siglas en inglés) se midió utilizando un magnetómetro de giro AGICO JR6a. La desmagnetización de la NRM se realizó mediante la aplicación progresiva de campos magnéticos alternos (AF por sus siglas en inglés) aplicando campos con valores pico de hasta 95 mT. La dirección de la magnetización remanente característica (ChRM) de todas las muestras se determinó mediante el análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980) con al menos cuatro pasos de tratamiento magnético. Las direcciones medias para las muestras de piso se calcularon siguiendo la estadística de Fisher (1953) que incluyen el parámetro de precisión (k) y el ángulo de confianza (α_{95}).

Comportamiento magnético

Se analizaron las propiedades magnéticas de 6 especímenes representativos del piso quemado. Resultó muy significativo que las curvas de adquisición de IRM de todas las muestras prácticamente no alcanzan la saturación completa después de la aplicación de campos de 750 mT. Se observa una semi-saturación a campos medios de orden de 300 mT la cual sugiere la presencia de minerales ferrimagnéticos de coercitividad moderada mientras que otra parte de la magnetización remanente es portada por granos de alta coercitividad, probablemente debido a la presencia de granos de hematita.

La figura 6 ilustra algunos ejemplos representativos de las curvas termomagnéticas (magnetización inducida vs temperatura). Sistemáticamente, se observan dos fases magnéticas: la primera con temperaturas de Curie entre 500 y 520°C, y una temperatura cercana a los 580°C para la segunda. Las curvas de calentamiento y enfriamiento son razonablemente reproducibles. Derivado de este comportamiento, podemos argumentar que existen granos magnéticos de titanomagnetitas con contenido variable de Ti.

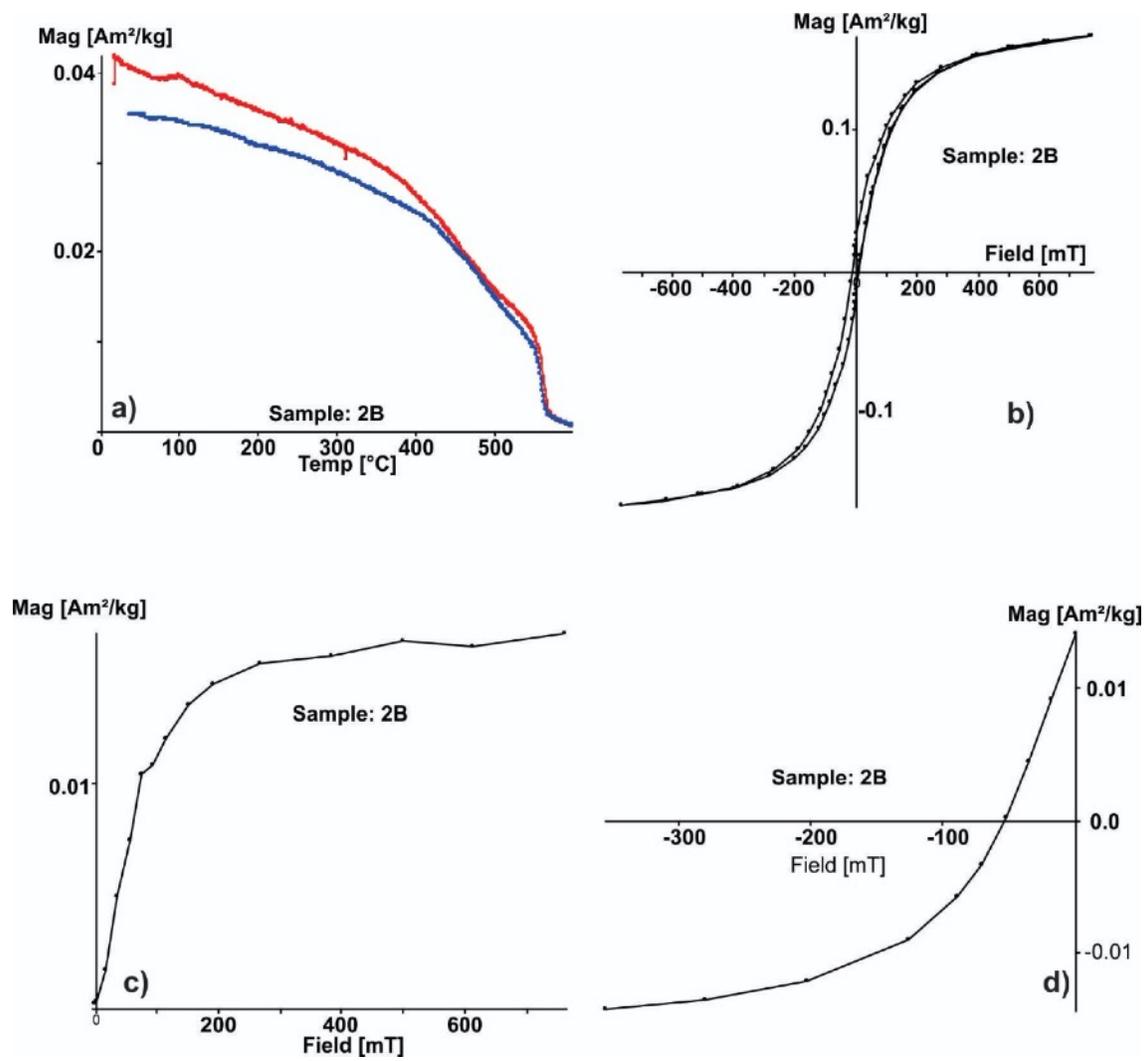


Figura 6. Resumen de experimentos de magnetismo de rocas: a) Curva termomagnética continua, magnetización a saturación vs. Temperatura, b) Ciclo de histéresis hasta 0.75 Tesla, c) adquisición de la magnetización remanente isothermal progresiva y d) curvas 'Back Field' obtenidas mediante la aplicación de campos magnéticos invertidos para definir la coercitividad de la remanencia.

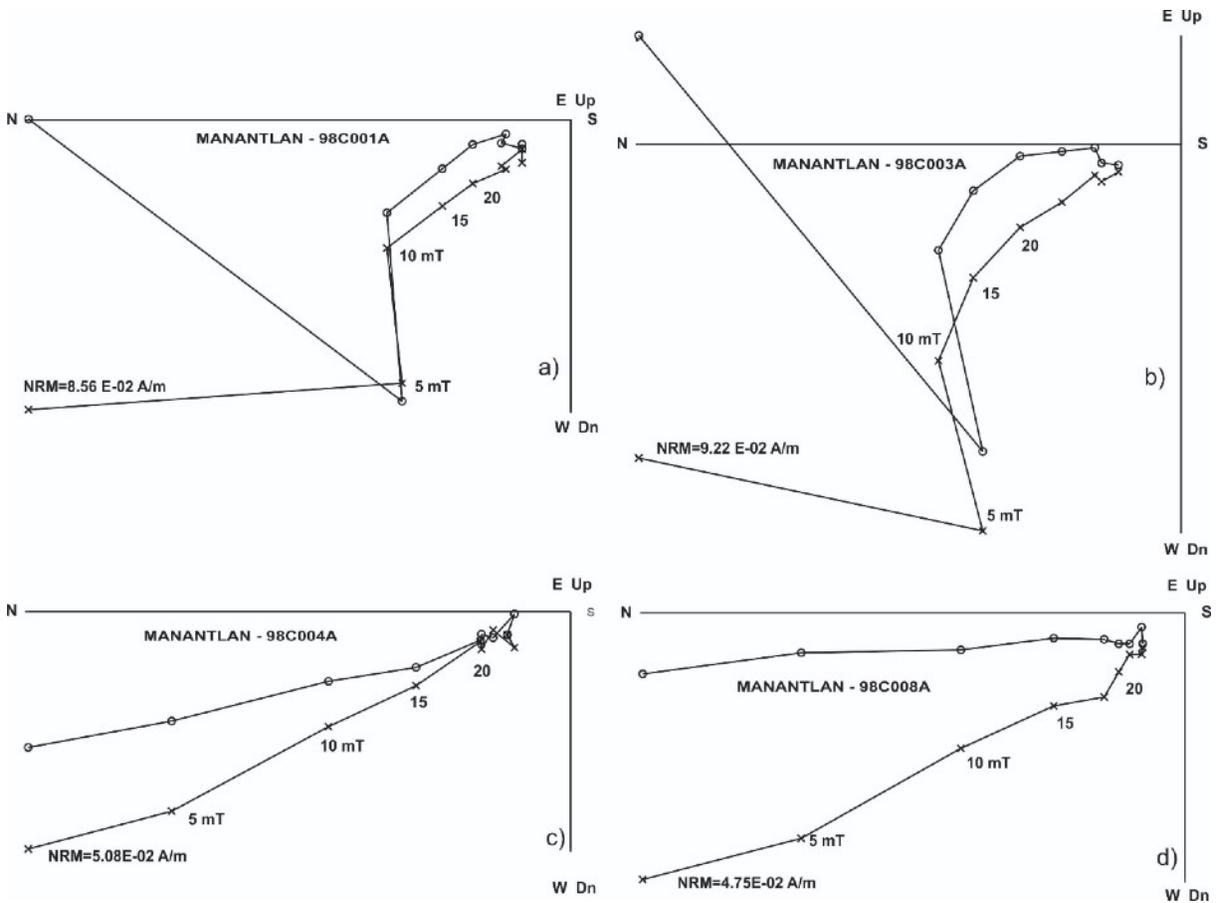


Figura 7. Ejemplos representativos de los procesos de desmagnetización por campos alternos (ver texto para mayores detalles).

Cabe mencionar que la fase magnética con la temperatura de Curie más alta está asociada a la magnetita casi pura. Es difícil detectar la probable presencia de la hematita antiferromagnética debido a la baja magnetización inicial. En general, la contribución de la componente magnética de alta coercitividad de la remanencia total resultó ser muy baja y poco significativa.

Se desmagnetizaron en total 17 muestras de piso quemado. Los ejemplos más representativos están reportados en la Figura 7. Los gráficos superiores se refieren a los especímenes extraídos de la parte superficial del piso (primeros 2 cm, Figura 7 a y b), mientras en la parte inferior (c y d) describen las muestras colectadas entre 2 y 5 cm de

profundidad. La presencia de fuertes magnetizaciones secundarias es notoria para la parte superficial del piso, con valores de magnetización remanente natural significativamente mayores comparados con los de las muestras más profundas. Estas magnetizaciones, sin embargo, son fácilmente removidas con la aplicación de campos alternos de 10 mT. Es razonable suponer que la presencia de estas componentes secundarias es el resultado del efecto moderado de relámpagos sobre la superficie del piso. La posible de ocurrencia de calentamientos posteriores parece poco sostenible.

Fechamiento Arqueomagnético

Aunque 17 especímenes fueron desmagnetizados mediante campos alternos, solo 9 de ellos mostraron una agrupación aceptable y, por lo tanto, fueron considerados para el cálculo de paleodirecciones medias con el siguiente resultado: Inclinação=32.7°, Declinación=344.4°, a_{95} =3.8° y k =181 (Figura 8).

Las direcciones medias se han comparado con el modelo geomagnético SCHADIF.14k (Pavón-Carrasco et al. 2014) utilizando el software *archaeo_dating* de Pavón-Carrasco et al. (2011). Seleccionamos este modelo porque se basa exclusivamente en datos arqueomagnéticos de artefactos quemados y de flujos de lava que son portadores de la magnetización termorremanente. Adicionalmente, el uso del software *archaeo_dating* tiene la ventaja de evitar cualquier error de relocalización eventual y que se ha demostrado introduce desviaciones significativas (Casas e Incoronato 2007). De acuerdo con la función de densidad de probabilidad, el último evento de exposición al fuego del piso de Minantlán se estima entre 986 y 1150 d.C (Figura 9).

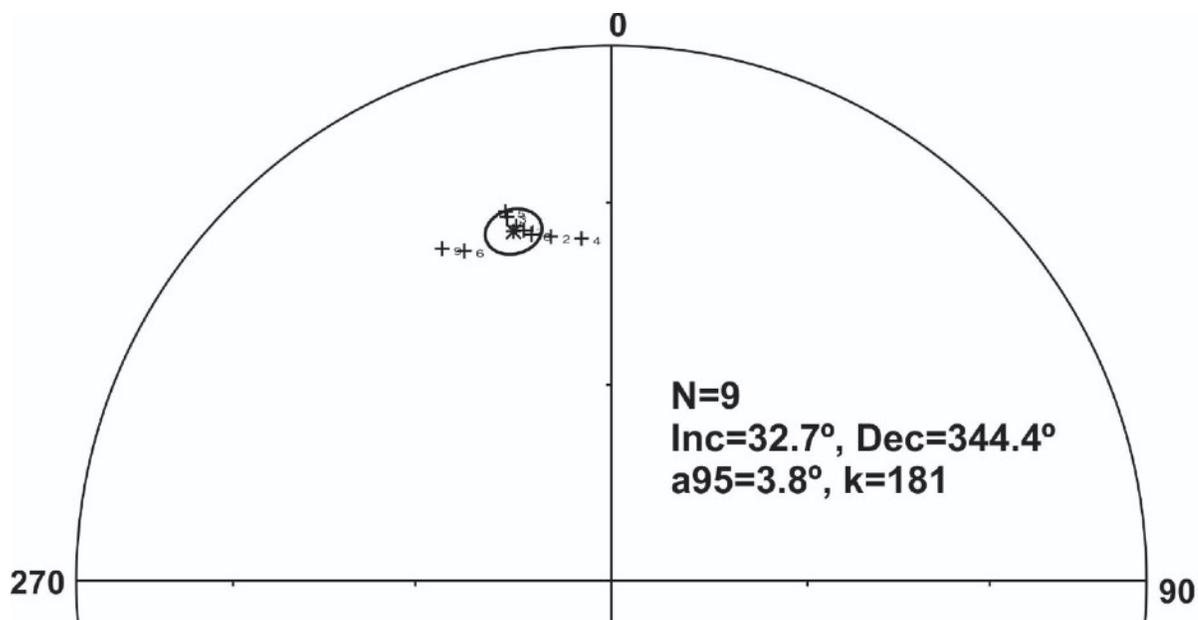


Figura 8. Proyección de igual área de las arqueodirecciones medias determinadas sobre 9 especímenes desmagnetizados de total de 17 disponibles.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las exploraciones en el Valle de Cuzalapa permiten esbozar una primera aproximación a lo que fue la ocupación prehispánica de sus habitantes. Esta ocupación se distingue por la presencia de asentamientos que presentan características arquitectónicas a la vez sencillas y peculiares, como lo son *a priori* la presencia dispersa de montículos alargados y orientados, alrededor de los cuales se agrupaban estructuras cuadrangulares sencillas, muy probablemente correspondiendo a las viviendas de la población; estos grupos asociados, desde la proximidad directa hasta distancias mayores, a manifestaciones gráficas, es decir distintas categorías de petrograbados.

Es interesante notar que en el valle de Cuzalapa, todos los montículos presentan características similares al montículo 6 de La Palma, habiendo una homogeneidad en este patrón arquitectónico, lo cual, a su vez, podría suponer una homogeneidad temporal en cuanto a su construcción/ocupación. En efecto, si retomamos la descripción (des-

graciamamente no lo suficiente precisa) de los sitios más cercanos identificados por Kelly al norte de la RBSM, en el valle de Autlán (Kelly 1945), si bien la mayoría constan de montículos, la forma, tamaño, cantidad y repartición difieren de un sitio al otro, así como su correspondencia con un complejo crono-cerámico particular. Ahora bien, los sitios del complejo Mylpa, fechado del Posclásico Temprano suelen caracterizarse por la presencia de varios montículos bajos (inferiores a 2m) como es el caso en el valle de Cu- zalapa, sin embargo, sus dimensiones son por lo menos del doble, y falta de levanta- miento no permite comparar el grado de similitud en cuanto al patrón de asentamiento.

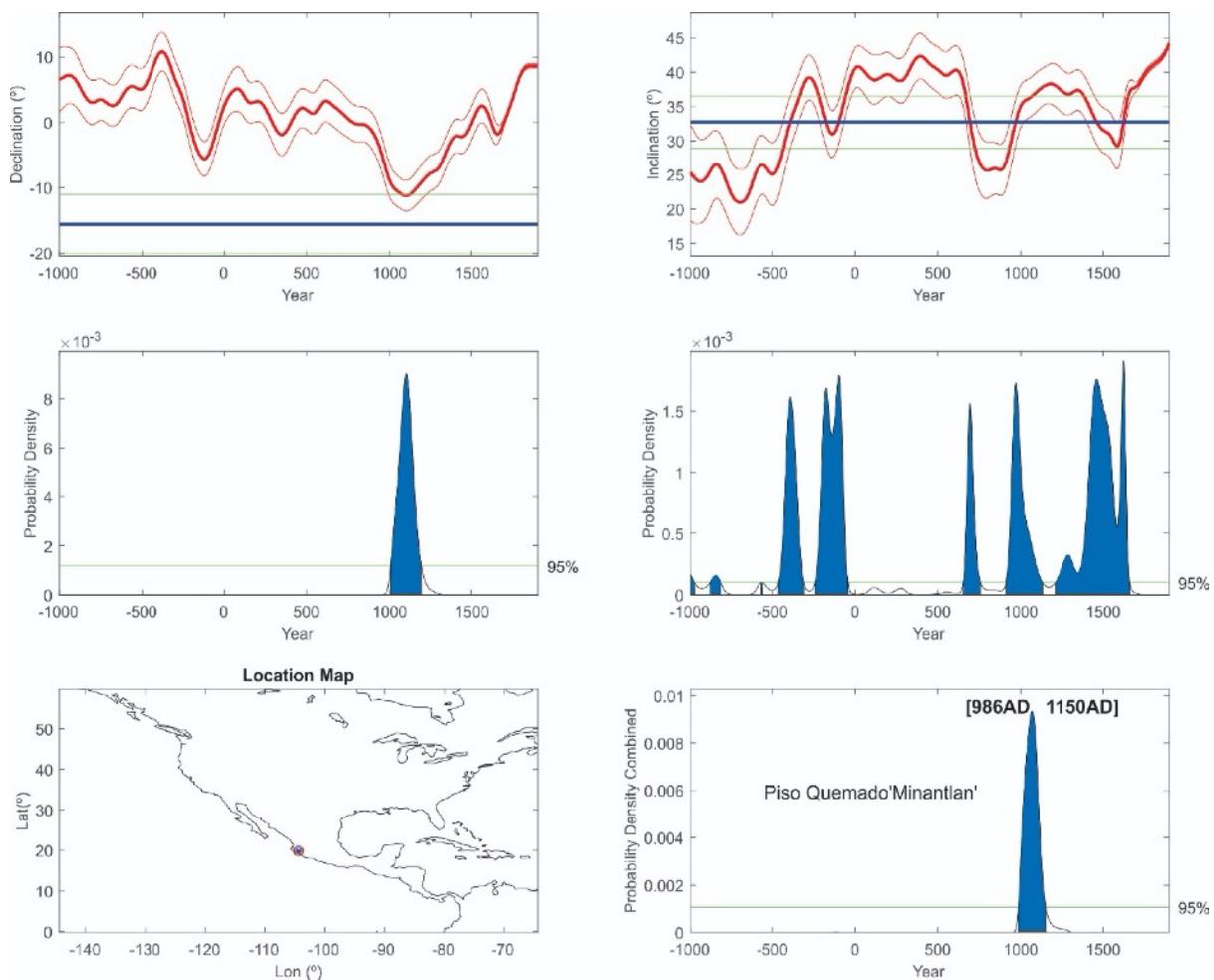


Figura 9. Fechamiento arqueomagnético mediante la herramienta MATLAB proporcionada por Pa- vón-Carrasco et al., (2011 y 2014) considerando la curva global SHADIF.14K como referencia.

Actualmente, la comunidad de Cuzalapa tiene un reconocimiento oficial como población indígena, y como tal busca, a través del proyecto arqueológico entre otras iniciativas, rescatar sus raíces y recuperar su historia. Por lo tanto, es lógico proceder remontando el tiempo, para poder interpretar la datación del piso de la estructura 1. Las fuentes etnohistóricas (Acuña 1988, García Castro 2013) reportan un asentamiento importante al momento del Contacto, con varios pueblos sujetos, por lo que se debe cuestionar la profundidad temporal de esta ocupación prospera a finales del Posclásico.

La fecha de última exposición al fuego del piso de la estructura 1 indica que la ocupación remonta, por lo menos, al periodo conocido como Posclásico Temprano, lo que significa para los habitantes actuales de la comunidad indígena de Cuzalapa una presencia e historia milenaria. A nivel cronológico, esta datación permite ubicar la ocupación del sitio de La Palma, y por extensión los asentamientos del valle de Cuzalapa en un contexto extrarregional caracterizado por el fenómeno Aztatlán (850-1350 d.C.), lo que plantea la cuestión de la integración del valle a la gran red del Occidente posclásico (Solar *et al.*: 2019).

Si bien Mountjoy considera que no hay centros mayores Aztatlán al sur del río Tomatlán (Mountjoy 2000), la extensión de la red Aztatlán hacia el sur de la costa del Pacífico, a través de la presencia de todo o parte del complejo material diagnóstico (Solar *et al.* 2019) llegaba hasta el valle de Colima (Olay 2004b), y la región de Apatzingán y el río Balsas en Michoacán (Solar *et al.*: *ídem*). El valle de Cuzalapa se ubica, por ende, en la franja suroeste del área de influencia de la red Aztatlán.

De los elementos diagnósticos de este cambio cultural presente en Cuzalapa, hasta el momento no hay evidencia de un centro arquitectónico con plaza, estela y cancha de juego de pelota, ni la presencia de figurillas de tipo *Mazapan*, o cerámica estilo plumbate o datos sobre costumbres funerarias, solamente tenemos pocos indicios de la presencia de cerámica polícroma y malacates (algunos soportes zoomorfos característicos del *Aztatlán polícromo* en las vitrinas del museo local de Casimiro Castillo), ya que como se mencionó las excavaciones no proporcionaron muestras significativas al respecto.

Rastros de la presencia, aunque muy limitada por el momento, de cerámica *Aztatlán polícroma* constituye un claro marcador de la esfera ideológica Aztatlán (Ramírez 2019).

Además, se puede tomar en cuenta la presencia de navajillas prismáticas de obsidiana, claramente obtenidas a través de una red de intercambio de larga distancia. No obstante, se insiste en la escasez de este recurso entre los materiales líticos, por lo que, de manera preliminar, se infiere en que la vinculación a la red de intercambio de obsidiana no era del mismo nivel como por comparación en el sitio de El Chanal, en Colima, ubicado 70 km hacia el oeste, donde la abundancia de obsidiana confirma su plena integración a la red Aztatlán (Olay 2004b). Mountjoy (1994) menciona que sitios Aztatlán en “lugares apropiados para aprovechar grandes áreas de tierras fértiles y húmedas en la llanura aluvial de los ríos costeros, sugiere un sistema agrícola más amplio e intensivo que antes”, descripción que corresponde muy bien al valle de Cuzalapa, a la diferencia de que se ubica en el pie de monte sur de la Sierra de Manantlán. Ahora bien, a asociación del horizonte Aztatlán con la aparición de la primera metalurgia pudiera ser un indicio más, ya que tanto fuentes actuales como históricas (Acuña 1988, Hosler y MacFarlane 1996), comentan la presencia de antiguas minas de cobre en la Sierra, accesibles desde Cuzalapa. Mismas minas que fueron incorporadas a la red purépecha de producción y distribución de artefactos metálicos durante el Posclásico Tardío (Perlstein Pollard, 1987). Finalmente, la presencia de petrograbados con motivos geométricos, solares y de tipo patolli, forma otro indicio de integración a la red. Los patollis pueden tanto relacionarse con la tradición de los *pecked circles* como de los *kuilichis* tarascos, aunque en este caso, la fecha arqueomagnética —si es que la consideramos válida para el momento del grabado y uso de estos juegos— indica un periodo demasiado temprano para poder asociarse a una influencia tarasca. Al contrario, Mountjoy (2006) registra un patolli considerándolo una categoría excepcional (1 de 339) en el valle de Tomatlán, con clara presencia Aztatlán.

En conclusión, en un contexto de escasez de evidencias artefactuales, la datación obtenida gracias al análisis arqueomagnético de un piso quemado en el sitio de La Palma constituye un elemento de gran relevancia para poder establecer una interpretación preliminar del contexto cultural de los asentamientos de la vertiente sur de la Sierra de

Manantlán. Con algunos elementos diagnósticos ausentes (pero no significa que no puedan aparecer en exploraciones futuras), y otros presentes muy discretamente, se tienen por el momento indicios de un nivel de integración a la red Aztatlán relativamente limitado en cuanto al desarrollo cultural local del Valle de Cuзалapa. El sitio de La Palma conforma un ejemplo bien conservado de estos asentamientos, por lo que su excavación y estudio permite, de manera preliminar, obtener datos relevantes en cuanto a las problemáticas cronológicas y culturales que plantea el estudio arqueológico del valle.

REFERENCIAS

- Acuña R. (1988). Relaciones Geográficas del siglo XVI: Nueva Galicia. México: UNAM.
- Beltrán J.C. (1991). Los concheros del puerto de Salagua (Playa del Tesoro). Tesis de Licenciatura. México: ENAH.
- Cabrero T. (1985). Balance y perspectiva de la Arqueología de Jalisco, Zacatecas y Durango. *Anales de Antropología*, vol. 22, núm.1, pp. 13-39.
- Casas L., y Incoronato A. (2009). Distribution analysis of errors due to relocation of geomagnetic data using the Conversion via Pole (CVP) method: implications on archaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, 169 (2), 448-454.
- Galván J. (1991). Las tumbas de tiro del Valle de Atemajac, Jalisco. Colección Científica 239. México: INAH.
- García Castro R. (2013). Suma de Visitas de los Pueblos de la Nueva España. 1548-1550, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Humanidades, Toluca.

- González L., y Beltrán J.C. (1998) Arqueología e historia de la provincia de Cihuatlán, en: El Occidente de México: arqueología, historia y medio ambiente. Perspectivas regionales. Actas del IV Coloquio de Occidentalistas. Guadalajara: UDG-ORSTOM, pp. 43-100.
- Grommé C.S., Wright T.L., Peck D.L. (1969). Magnetic properties and oxidation of iron-titanium oxide minerals in Alae and Makaopuhi lava lakes, Hawaii. *Journal of Geophysical Research* 74, 5277-5294.
- Fisher R. (1953). Dispersion on a Sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 217, 295-305.
- Furst P. (2000) Simbolismo chamánico transformación y deidades en el arte funerario del Occidente, en: Townsend, Richard F (ed.) *El Antiguo Occidente de México. Arte y arqueología de un pasado desconocido*. Chicago y Guadalajara: The Art Institute of Chicago, Secretaría de Cultura del Gobierno de Jalisco, y Tequila Sauza, pp. 173-194
- Hosler D., y Andrew M.F. (1996). Copper Sources, Metal Production, and Metals Trade in Late Postclassic Mesoamerica, *Science, New Series*, Vol. 273, No. 5283, pp. 1819-1824.
- Kelly I.T. (1940). *Diario de campo, Pueblo nuevo a Cuzalapa*, manuscrito inédito, archivo de Otto Schöndube, Guadalajara.
- Kelly I.T. (1945). *The archaeology of the Autlán-Tuxcacuesco area of Jalisco. Vol.1: The Autlán zone*. Ibero-americana 26, University of California Press, Berkeley y Los Angeles.

- Kelly, I.T. (1949). The archaeology of the Autlán-Tuxcacuesco area of Jalisco. Vol. 2: The Tuxcacuesco-Zapotitlan zone. Ibero-americana 27, University of California Press, Berkeley y Los Ángeles.
- Kelly I.T. (1978). Seven Colima Tombs: An Interpretation of Ceramic Content, en: Graham, John (ed.) Studies in Ancient Mesoamerica, vol. 3, Berkeley: University of California Archaeological Research Facility, pp. 1-26.
- Kirschvink J.L. (1980). The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data, Geophys. J. R. Astronomical Soc. 62, 699-718.
- Ladrón de Guevara E. (2018). La gráfica rupestre en la porción occidental del valle de Autlán (Jalisco, México), Cuadernos de Arte Prehistórico 6, pp. 96-112.
- Lazcano Sahagún C. (1988). Las cavernas de Cerro Grande. Estados de Colima y Jalisco. Rafael Guzmán Mejía (Ed.), Laboratorio Natural Las Joyas. Guadalajara: U. de G.
- Liot C., Ramírez S., Reveles J., Schöndube O. (2006). Transformaciones socioculturales y tecnológicas en el sitio de La Peña, Cuenca de Sayula, Jalisco. Guadalajara: UDG- INAH
- Long S. y Wire M.V.V. (1966). Excavations at Barra de Navidad, Jalisco, Antropológica, núm. 18. Venezuela: Instituto del Caribe de Antropología Social.
- Meighan C. (.1972). Archaeology of the Morett Site, Colima, vol.7. Publications in Anthropology. Berkeley: University of California Press.
- Mountjoy J. B. (1994). Las tres transformaciones más importantes en la habitación indígena de la costa del Occidente de México, en: Ricardo Ávila Palafox (Coord.) Trans-

formaciones mayores en el Occidente de México. Guadalajara: Colección Fundamentos, Departamento de Estudios del Hombre, Universidad de Guadalajara.

Mountjoy J.B. (2000). Prehispanic Cultural Developments along the Southern Coast of Western Mexico, M.S. Foster y S. Gorenstein (Eds), Greater Mesoamerica, University of Utah Press, Salt Lake City, pp. 81-106.

Mountjoy J.B. (2006). Algunos patollis abreviados encontrados entre los petrograbados de Jalisco, en: Victor Joel Santos Ramírez y Ramón Viñas Vallverdu (Coords.) Los petroglifos del Norte de México. Memoria del Primer Seminario de Petrograbados del Norte de México. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Dirección de Investigación y Fomento de Cultura Regional, pp. 151-155.

Mountjoy J.B. (2008). Arqueología de la Zona Costera de Jalisco y del Municipio de Villa Purificación", Aristarco Regalado Pinedo y Juan Sánchez Vázquez (coords), Miscelánea Histórica de Villa Purificación. Testimonios del 475 Aniversario de su Fundación, Ayuntamiento Constitucional de Villa Purificación, Villa Purificación, pp. 21-39.

Mountjoy J. (2012). El Pántano y otros sitios del Formativo Medio en el Valle de Mascota, Jalisco. Guadalajara: Secretaria de Cultura, CuCOSTA, Ayuntamiento de Mascota, Acento Editores.

Olay M.A. (2004a). Arqueología de Colima, en: Braniff, B. (coord). Arqueología del Occidente de México. México: Universidad de Colima e Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 271-308.

Olay M.A. (2004b). El Canal Colima. Lugar que habitan los custodios del agua. México: Universidad de Colima e Instituto Nacional de Antropología e Historia.

- Olay Barrientos M.A., Alcántara Salinas S. y Almendros López L. (2010) La tradición Capacha. Evaluación y perspectivas desde el valle de Colima, en: Solar Valverde, L. (ed.) El sistema fluvial Lerma-Santiago durante el Formativo y el Clásico temprano: precisiones cronológicas y dinámicas culturales. CDMX: INAH, pp. 19-41,
- Pavón-Carrasco F.J., Rodríguez-González J., Osete M.L., Miquel J. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic 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 archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 388, 98–109.
- Perlstein Pollard H. (1987). The Political Economy of Prehispanic Tarascan Metallurgy, *American Antiquity*, Vol. 52, No. 4, pp. 741-752
- Pomedio C., Barajas Sánchez E., Ladrón de Guevara Ureña E. y Santiago Aguirre F. (2019). Proyecto Manantlán. Informe técnico parcial, Primera temporada. Informe técnico del INAH.
- Ramírez Urrea S. (2019). Dinámica sociocultural en la Cuenca de Sayula (Jalisco) durante el Postclásico Temprano y Medio. La tradición Aztatlán, la fase Sayula Tardía y la fase Amacueca Temprana. en: Solar L. y Nelson B.A. (Eds.), *Aztatlán. Interacción y cambio social en el Occidente de México ca. 850-1350 d.C.* Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán, Arizona State University, pp. 169-198.
- Schöndube O. (1994). El Occidente de México, *Arqueología Mexicana*, 11(9), pp.18-25.
- Serna R. (1988). Informe atlas arqueológico de Colima”, ms. CDMX: Departamento de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas.

Sociedad Mexicana de Antropología (1948). Occidente de México, IV Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología.

Solar L. y Nelson B.A., Editores (2019). Aztlán. Interacción y cambio social en el Occidente de México ca. 850-1350 d.C. Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán, Arizona State University.

Solar Valverde L., Nelson B.A. y Ohnersorgen M.A. (2019). Aztlán: una red de interacción en el Occidente de México, en: Solar L. y Nelson B.A., (Eds.) Aztlán. Interacción y cambio social en el Occidente de México ca. 850-1350 d.C. Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán, Arizona State University, pp. 1-38.

Valdez F., Schöndube O. y Emphoux J.P. (2005). Arqueología de la Cuenca de Sayula. Guadalajara: UdeG-IRD.

Vargas Avalos A. (2015). Cuautitlán de García Barragán. Historia. Guadalajara: Gobierno municipal de Cuautitlán de García Barragán.

Williams E. (1996). Desarrollo cultural en las cuencas del Occidente de México: 1500 a.c.-1521 d.C., en: Williams E. y Weigand P. C. (eds.) Las cuencas del Occidente de México: época prehispánica. Zamora, Mich.: El Colegio de Michoacán, pp. 15-60

Zepeda García Moreno G. (1998) Dos mil años de piedra, adobe y palma: la importancia del estudio de la vivienda prehispánica y contemporánea en Nayarit, en: El Occidente de México: arqueología, historia y medio ambiente. Perspectivas regionales. Actas del IV Coloquio de Occidentalistas. Guadalajara: UDG-ORSTOM, pp. 18-31.

Capítulo 6

Aportes a la cronología absoluta del sitio El Cerrito de Los Agaves en la parte Suroriental de los Altos de Jalisco, México.

Resumen

La región de los Altos de Jalisco es todavía poco comprendida en cuanto a sus dinámicas culturales, principalmente los periodos de ocupación y filiación cultural. Se han identificado extensas relaciones con otras áreas culturales cercanas, sobre todo con el Bajío y la Cuenca del río Lerma-Santiago. Gran parte de los asentamientos hasta ahora descubiertos en esta región pertenecen al periodo Epiclásico (600-900 d.C.) y cuyo patrón de asentamiento es muy característico con sitios establecidos en las mesetas o puntos elevados. Muchos de estos sitios están conformados por patios hundidos, plazas cerradas, además de palacetes con columnas que sugieren sociedades jerárquicas y con cierto control de su territorio. Uno de estos sitios que sobresale en esta región es el de la Presa de la Luz, que desde el año de 2012 iniciamos un proceso de registro y prospección de este. Nuestro interés es reconocer el papel que jugó este sitio dentro de estas propias dinámicas de Los Altos de Jalisco y su relación con otras áreas circunvecinas. Dentro de este sitio se encuentra un complejo de edificios denominado como El Cerrito de Los Agaves, que en el año de 2020 durante los trabajos de investigación se hallaron dentro del Montículo Principal las huellas de pisos quemados en su parte poniente (casi a 4 metros de profundidad, bajo el escombro). Se presentan en este texto algunas conjeturas sobre los materiales arqueológicos, la arquitectura y la relación con otros sitios arqueológicos, en cuanto a su temporalidad. Esto se llevó a cabo a través del análisis de dos muestras para realizar la datación a través de la técnica de arqueomagnetismo, los resultados concuerdan con fechamientos cercanos al año 1000 d.C. Presumiblemente pensamos que estas fechas corresponden al periodo de abandono del sitio, ya que son muy similares a los fechamientos realizados por la misma técnica en el sitio de Plazuelas (a 105 km al oriente de este sitio). Con ello, podemos observar que esta parte de los

Altos de Jalisco estuvo dentro de las mismas dinámicas sociales regionales durante el Epiclásico.

Introducción

Asentado en la porción Sureste de la región conocida como Los Altos de Jalisco, El Cerrito de los Agaves es uno de los sitios arqueológicos con arquitectura monumental de gran importancia para la arqueología de los Altos de Jalisco dado su cercanía con las regiones circunvecinas con tradiciones culturales que influenciaron en la arquitectura, la religión y el comercio.

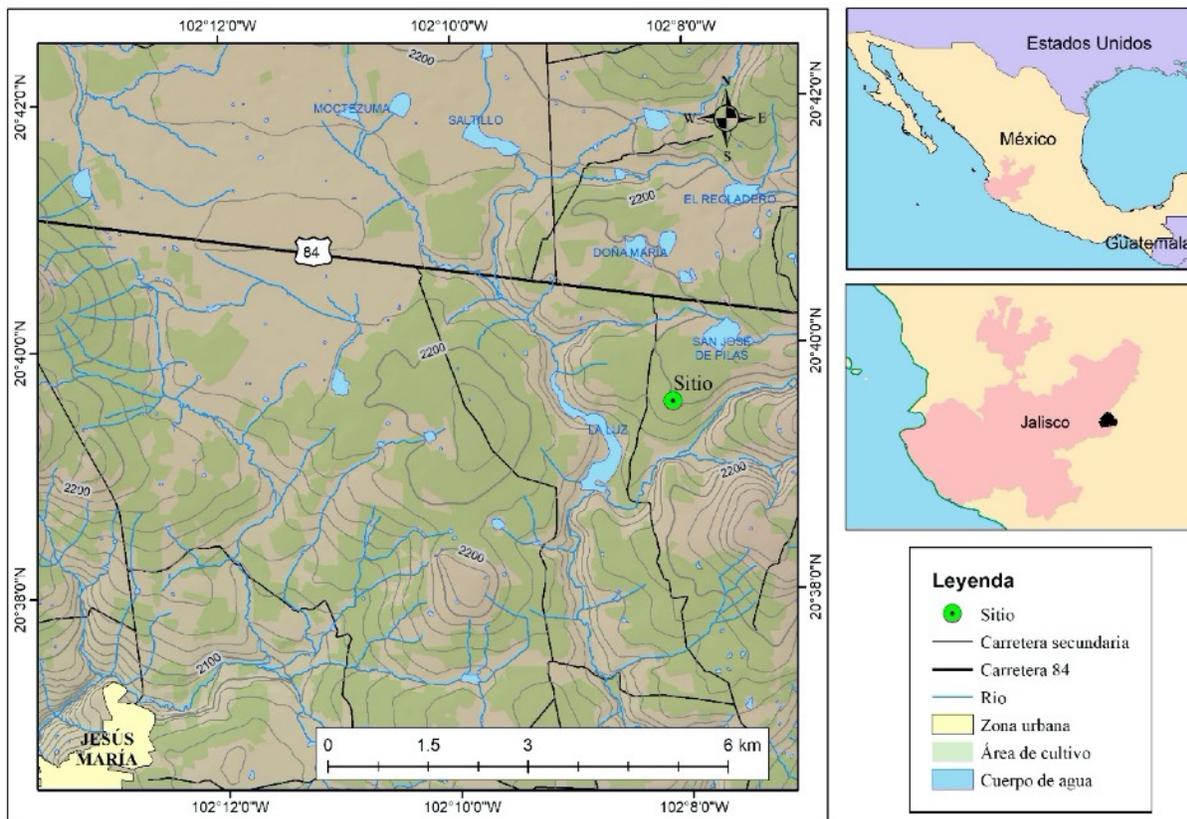


Figura 1. Ubicación del sitio El Cerrito de los Agaves dentro de la región de Los Altos de Jalisco

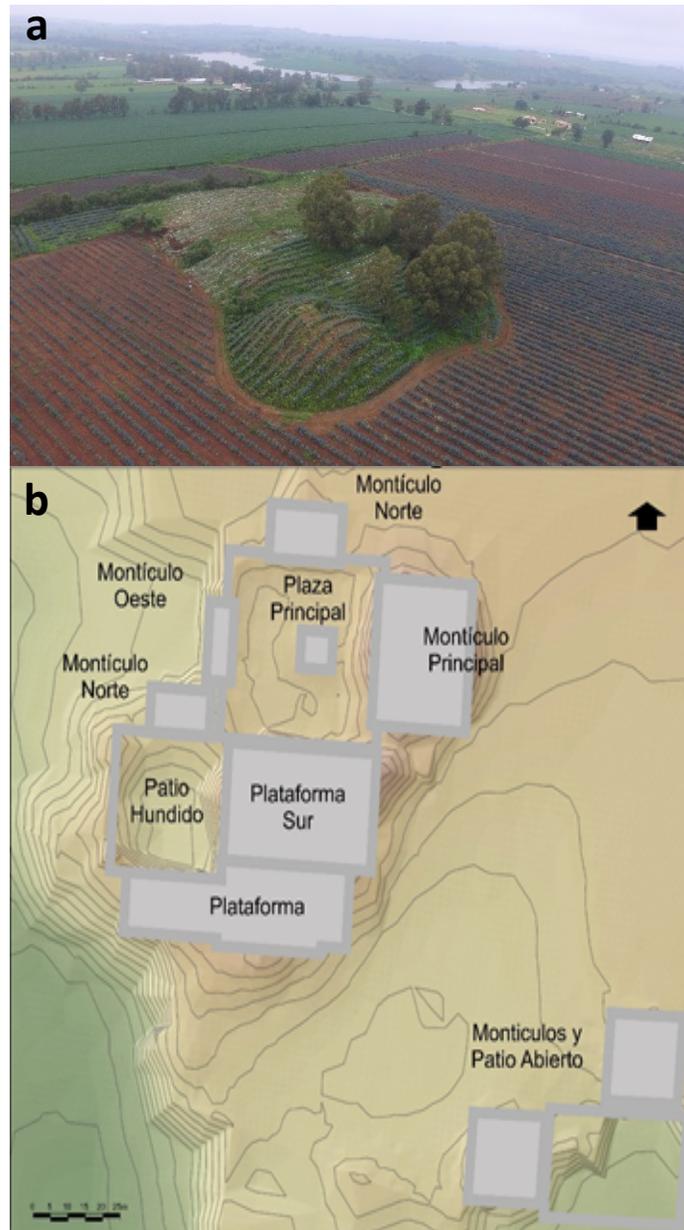
El Cerrito de Los Agaves está ubicado a unos 800 metros al norte de la comunidad conocida como La Luz, municipio de Jesús María, Jalisco y a unos 10 kilómetros (en línea recta) al noreste de la cabecera municipal (Figura 1). Este sitio es una de las tres áreas con vestigios prehispánicos que conforman el Proyecto Arqueológico Presa de la Luz, y es la única hasta el momento que cuenta con monumentos arquitectónicos. Está constituido en su área nuclear por un patio cerrado (Plaza Principal) de grandes dimensiones, cuenta con un altar central y el patio es limitado al oriente por un montículo piramidal de aproximadamente 12 metros de altura, al sur por una gran plataforma rectangular que se eleva desde el piso del patio unos 4 metros (Plataforma Sur) y al poniente y norte por dos pequeños montículos unidos todos ellos por una banqueta.

Adosado al talud oeste de la gran plataforma (Plataforma Sur) hay un patio hundido de menor tamaño que el principal, cerrado por sus cuatro lados al oriente por la Plataforma Sur, al norte por un montículo de poca altura, al sur por lo que parece ser otra plataforma de gran tamaño, pero de menor altura que la Plataforma Sur a la que se une por su costado sur y al poniente por un muro o banqueta que cierra el patio en su totalidad. Al Sureste del área nuclear aproximadamente a 70 metros de distancia un pequeño conjunto de dos montículos piramidales unidos por un patio abierto por sus costados oriente y sur. (Figuras 2a y 2b).

El inicio de los trabajos de investigación arqueológica de El Cerrito de los Agaves se remonta al año 2017 en una primera temporada de corta duración en la que se realizaron los trabajos de topografía general, el trazo reticular del área de interés y la excavación de tres pozos de sondeo (Esparza, et. al. 2018).

En el Pozo 1 que se encontraba fuera del patio hundido en su parte oriente, se pudieron determinar dos cosas importantes, la primera un nivelamiento del terreno con rellenos de tierra roja para poder desplantar los edificios, y segundo, dos momentos al parecer de ocupación que se notaba en la estratigrafía. De igual forma en el Pozo 2, que estaba dentro del patio, teníamos la misma secuencia. Desgraciadamente fueron muy pocos los materiales cerámicos que hallamos en estos pozos para poder hacer una seria-

ción cronológica, sin embargo, pudimos darnos cuenta de que la mayoría de los materiales son del periodo Epiclásico (600-900 d.C.) comparándolos con los hallados en otros sitios de los Altos, la región central de Jalisco y la región del Bajío (Montejano 2007; López Mestas y Montejano 2003 y 2009; Fernández 2016; entre otros).



*Figura (2a) Vista general del sitio con el uso del dron y (2b) el levantamiento fotogramétrico.
(Realizó sobrevuelo con el Arqueodron: César Hernández y Mario Rétiz).*

En esta misma temporada realizada en el 2018, se abrieron dos frentes de trabajo uno en el altar central con una cala de aproximación y después con una cala de seguimiento de muros y dos pozos de sondeo, uno en el centro del altar y el otro en la esquina noroeste. Mientras que en el montículo principal se trazó y excavó una cala de aproximación a la estructura detectando en su momento el apisonado del patio que une ambas construcciones Estructura (montículo principal) y altar central, liberando parcialmente una escalinata de acceso a la estructura y que corresponde a la última etapa constructiva de la misma (Figura 3a y 3b).

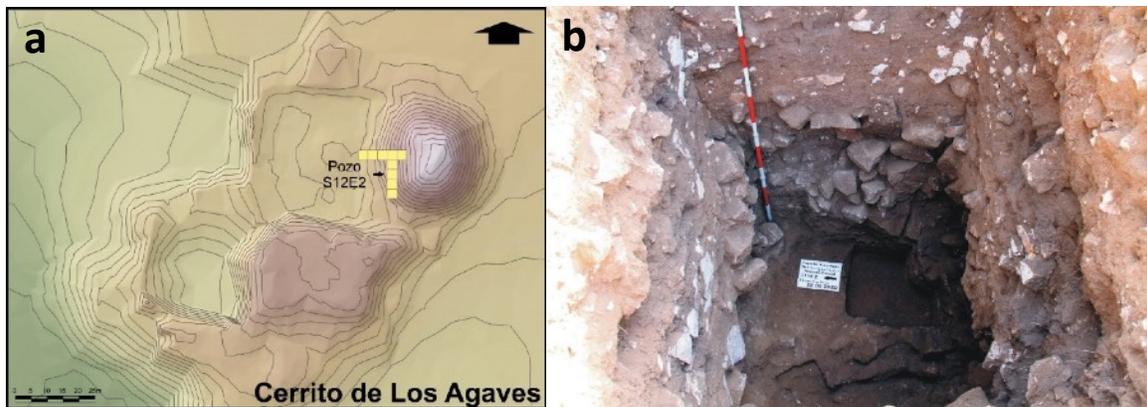


Figura 3a. Localización de los pozos y trincheras de investigación del Montículo Principal. 3b Pozo S12E2, con una profundidad de casi 4 metros, en la parte inferior es donde se tomaron las muestras para el fechamiento por arqueomagnetismo.

Para la cuarta temporada de excavación realizada en los meses de febrero y marzo de 2020 se continuó liberando el altar central en su cara sur, se traza una nueva cala de aproximación hacia la Plataforma sur e iniciamos la excavación para conocer la arquitectura de la fachada norte de la misma.

En otro frente (Montículo principal) trazamos una cala de seguimiento perpendicular a la realizada en temporadas anteriores con la finalidad de conocer más sobre la arquitectura de la estructura, solamente se excavaron dos pozos el primero (S12E2) a 2

metros de distancia de la cala principal y sobre el talud del montículo, el segundo (S14E2) a 6 metros de distancia hacia el sur de la cala principal.

Es en el pozo denominado S12E2, donde se localizó parcialmente lo que suponemos hasta el momento es un sistema arquitectónico similar al talud tablero, aunque muy destruidos ambos, y es en el muro inferior que delimita este cuerpo donde se extraen las muestras de piso quemado para su datación por arqueomagnetismo.

La razón principal por la cual se hacen las excavaciones en el complejo del Cerri-
to de los Agaves, es que las otras dos zonas de vestigios alrededor de este sitio están compuestas principalmente de concentraciones de Manifestaciones Gráficas Rupestres (MGR) o petrograbados, entre las que destacan las conocidas como cruces punteadas o *pecked cross* (figura 5a y 5b), representaciones relacionadas con el conocimiento astronómico, cabe hacer mención que tenemos una de las concentraciones más altas de este tipo de MGR solo después de Teotihuacán en el estado de México y Xihuingo/Tepeapulco en el estado de Hidalgo (Esparza et. al. 2016).

Estudio arqueomagnético

Las muestras de mano arqueomagnéticas fueron tomados dentro de Pozo S12E2, en una profundidad aproximada de 4 metros. Los pisos aparentemente quemados y separados por un grueso muro (Figura 6) fueron intervenidos arqueomagnéticamente. De esta manera, se colectaron muestras orientadas tanto de piso interior como de exterior.

En primera instancia, se intentó determinar la mineralogía magnética de los materiales estudiados mediante el registro continuo de la susceptibilidad magnética en función de temperatura (Figura 7). Las temperaturas de Curie de las curvas termomagnéticas se determinaron con el método de Prévot et al., (1983). Todas las muestras derivadas del piso exterior muestran un comportamiento termomagnético inestable marcados por una franca irreversibilidad de curvas de calentamiento y enfriamiento. Sin embargo, tal parece que una sola fase probablemente titanio magnetita pobre en titanio ferromagnética está presente. No así, para las muestras de piso interior donde se observan clara-

mente dos fases magnéticas durante el calentamiento. La fase observada entre 250°C y 350°C desaparece después de calentamientos hasta 600°C lo cual podría ser indicativo de la inversión de titanomaghemita y su transformación hacia magnetita (Dunlop and Ozdemir, 1998 y 2015).

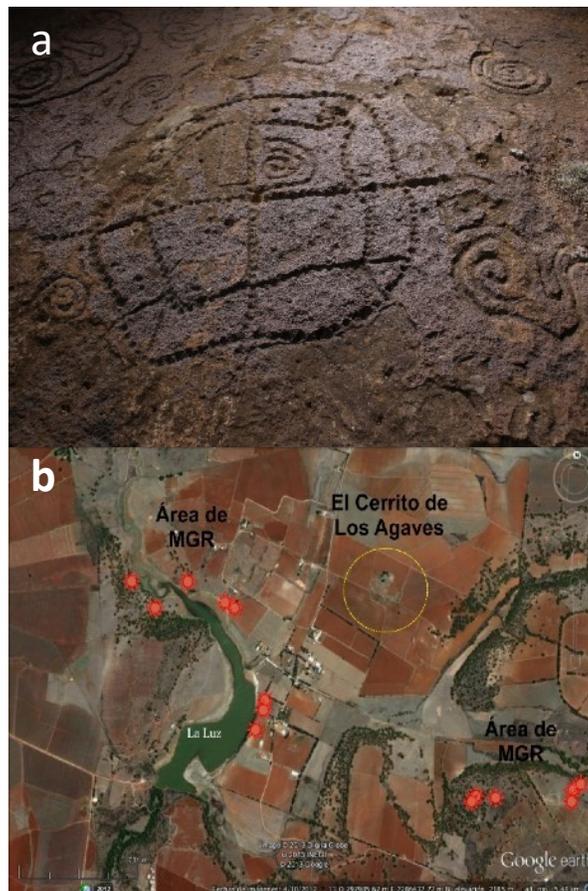


Figura 5a. Fragmento del llamado “Planchón principal” donde se puede observar uno de los dos pecked cross que conforman el conjunto. 5b. Mapa de localización de los pecked cross alrededor del complejo Cerrito de los Agaves.

La magnetización remanente natural (NRM por sus siglas en inglés) se midió utilizando un magnetómetro de giro AGICO JR6a. La desmagnetización de la NRM se realizó mediante la aplicación progresiva de campos magnéticos alternos (AF por sus siglas en inglés) aplicando campos con valores pico de hasta 90 mT. La dirección de la magnetización remanente característica (ChRM) de todas las muestras se determinó mediante el análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980) con al menos cuatro

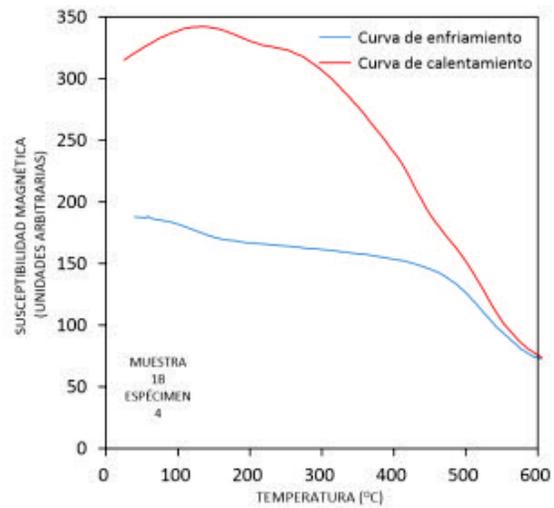
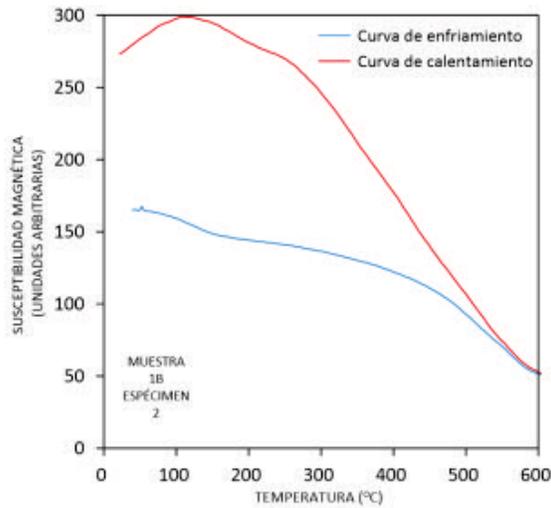
pasos de tratamiento magnético. Las direcciones medias para las muestras de piso se calcularon siguiendo la estadística de Fisher (1953) que incluyen el parámetro de precisión (k) y el ángulo de confianza (α_{95}). Se desmagnetizaron en total 20 muestras de ambos pisos quemados. Los ejemplos más representativos están reportados en la Figura 8. Se aprecia esencialmente único componente de la magnetización tendiente al origen. Las magnetizaciones secundarias de tipo viscosas tienen una contribución muy menor y son fácilmente removidas a las primeras etapas de desmagnetización a 10 mT.

Aunque 20 especímenes fueron desmagnetizados mediante campos alternos, solo 15 de ellos (7 correspondiente a Piso Interior y 8 a Piso Exterior) mostraron una agrupación aceptable y, por lo tanto, fueron considerados para el cálculo de paleodirecciones medias reportadas en la Figura 9. Estas direcciones medias se han comparado con el modelo geomagnético SCHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco et al. 2014) utilizando el software *archaeo_dating* de Pavón-Carrasco et al. (2011). Los resultados de del ejercicio de datación, están reportadas en la Figuras 10 y 11.



Figura 6. Toma de muestras arqueomagnéticas orientadas dentro de Pozo S12E2.

PISO EXTERIOR



PISO INTERIOR

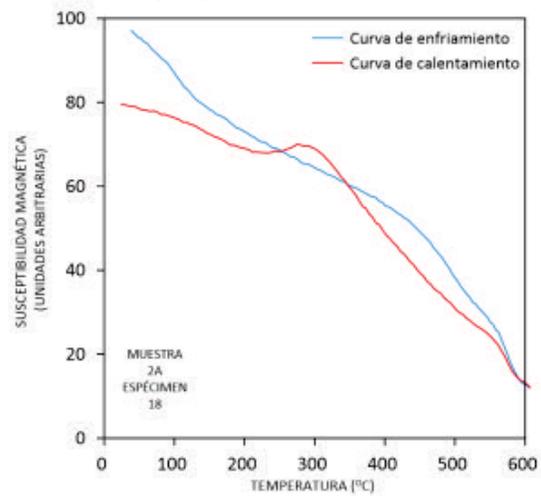
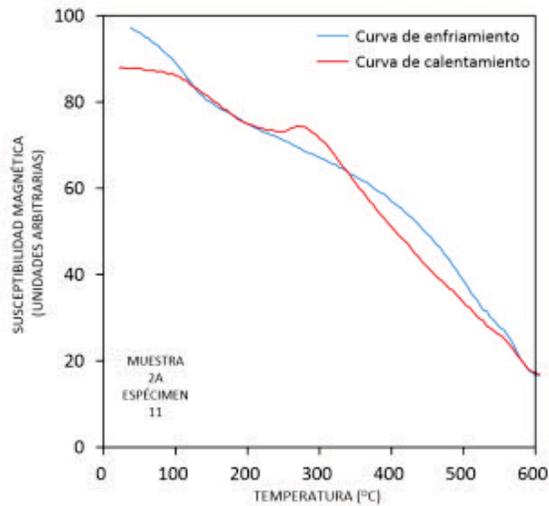
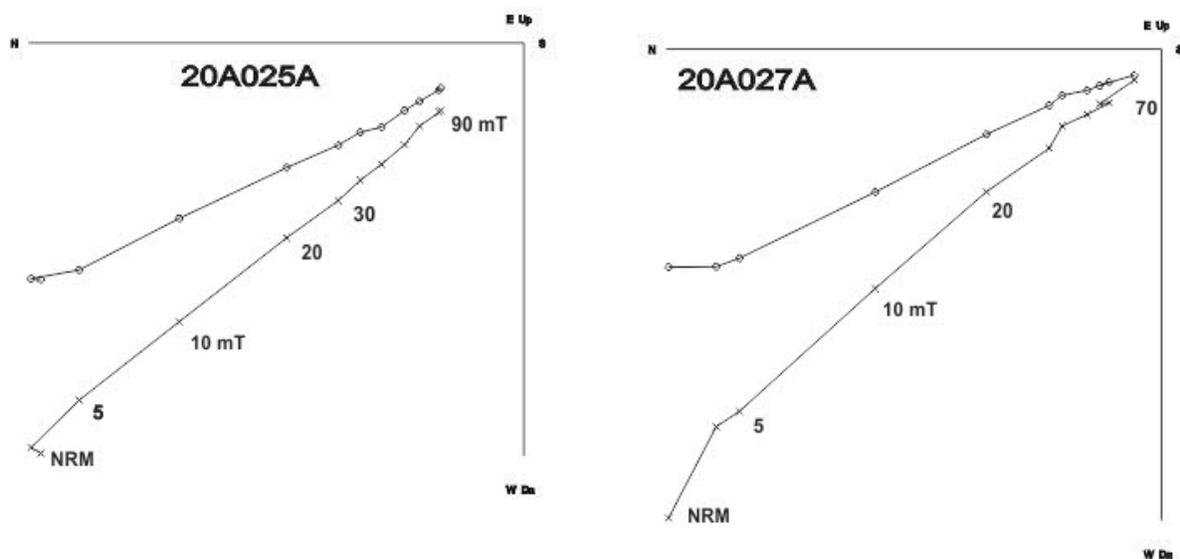


Figura 7 – Registro de la susceptibilidad magnética en función de Temperatura hasta 600 °C mediante ciclos de calentamiento y enfriamiento.

PISO INTERIOR



PISO EXTERIOR

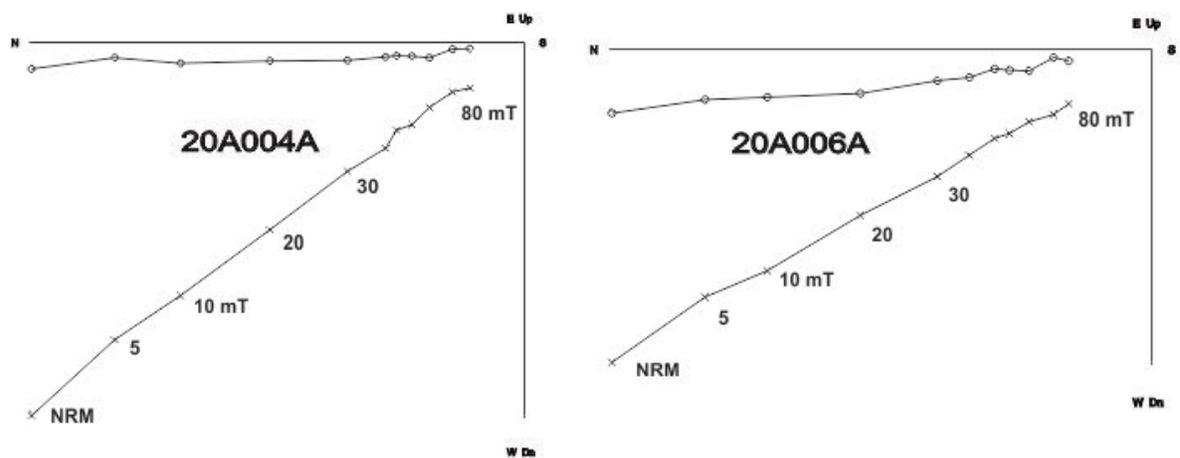


Figura 8. Ejemplos representativos de los procesos de desmagnetización por campos alternos crecientes hasta 90 mT.

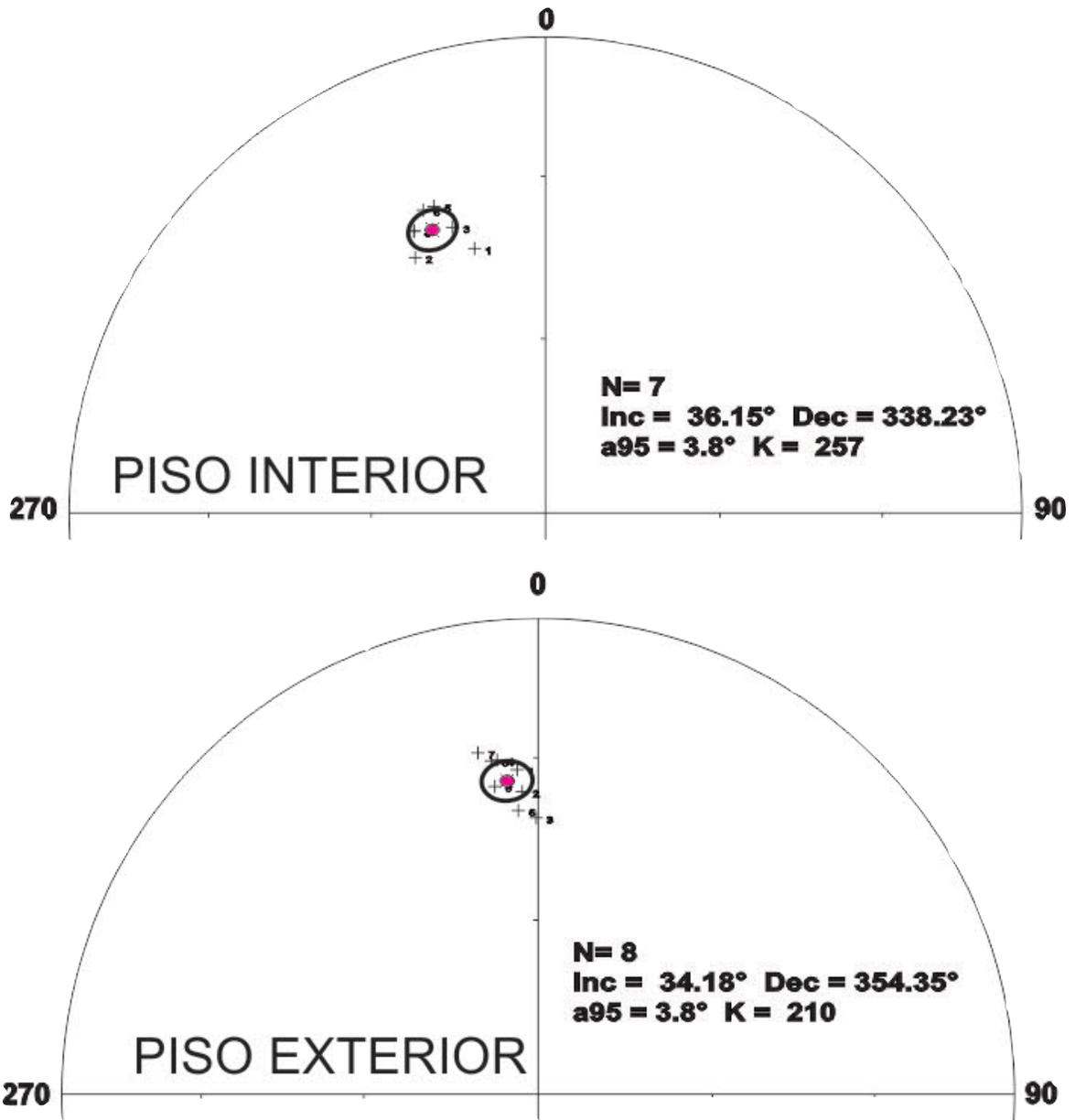


Figura 9. Determinación de arqueodirecciones medias con los parámetros de precisión asociadas.

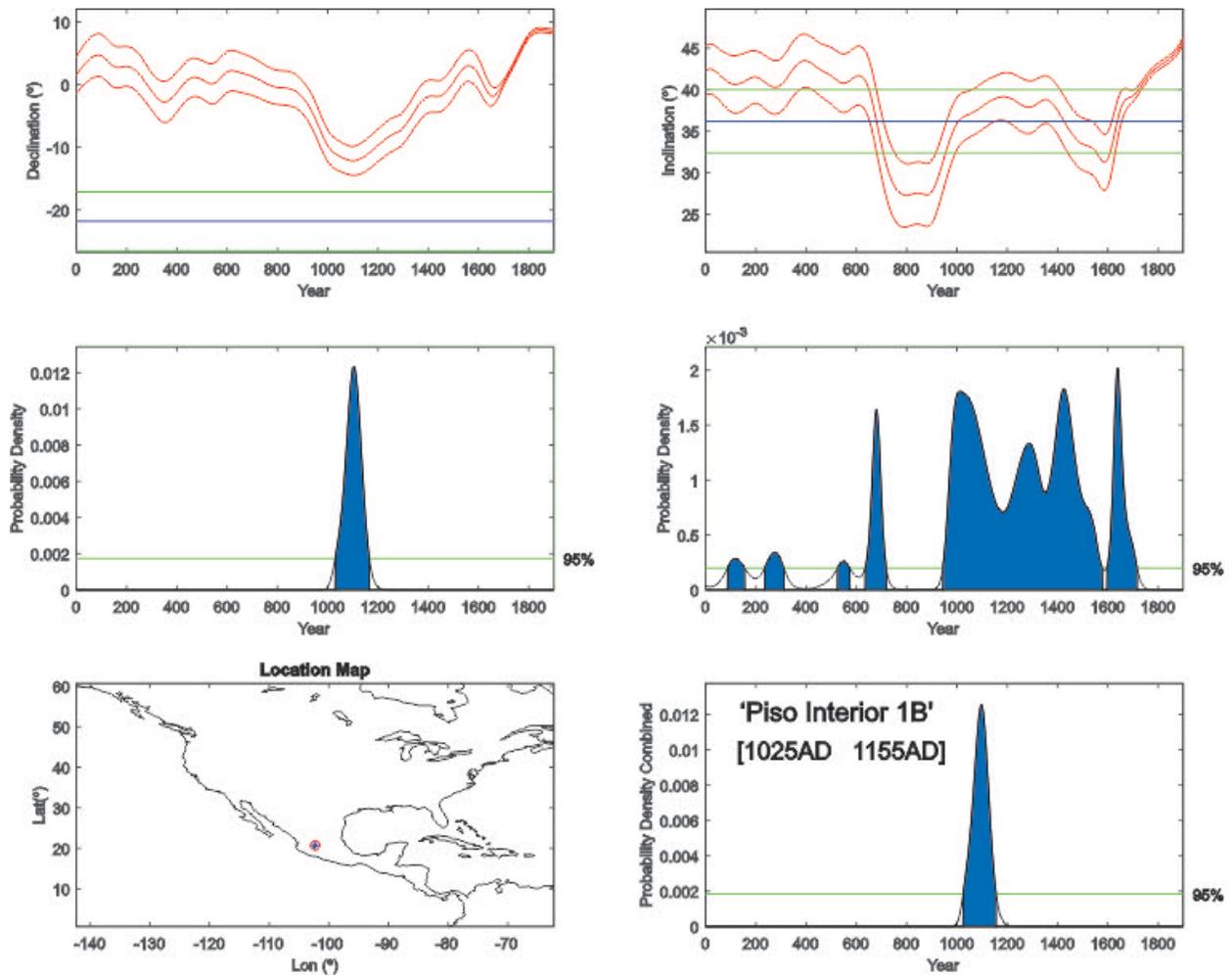


Figura 10. Ejercicio de fechamiento de Piso Interior basado en modelo *SHA.dif14K* (Pavón-Carrasco et al., 2011 y 2014)

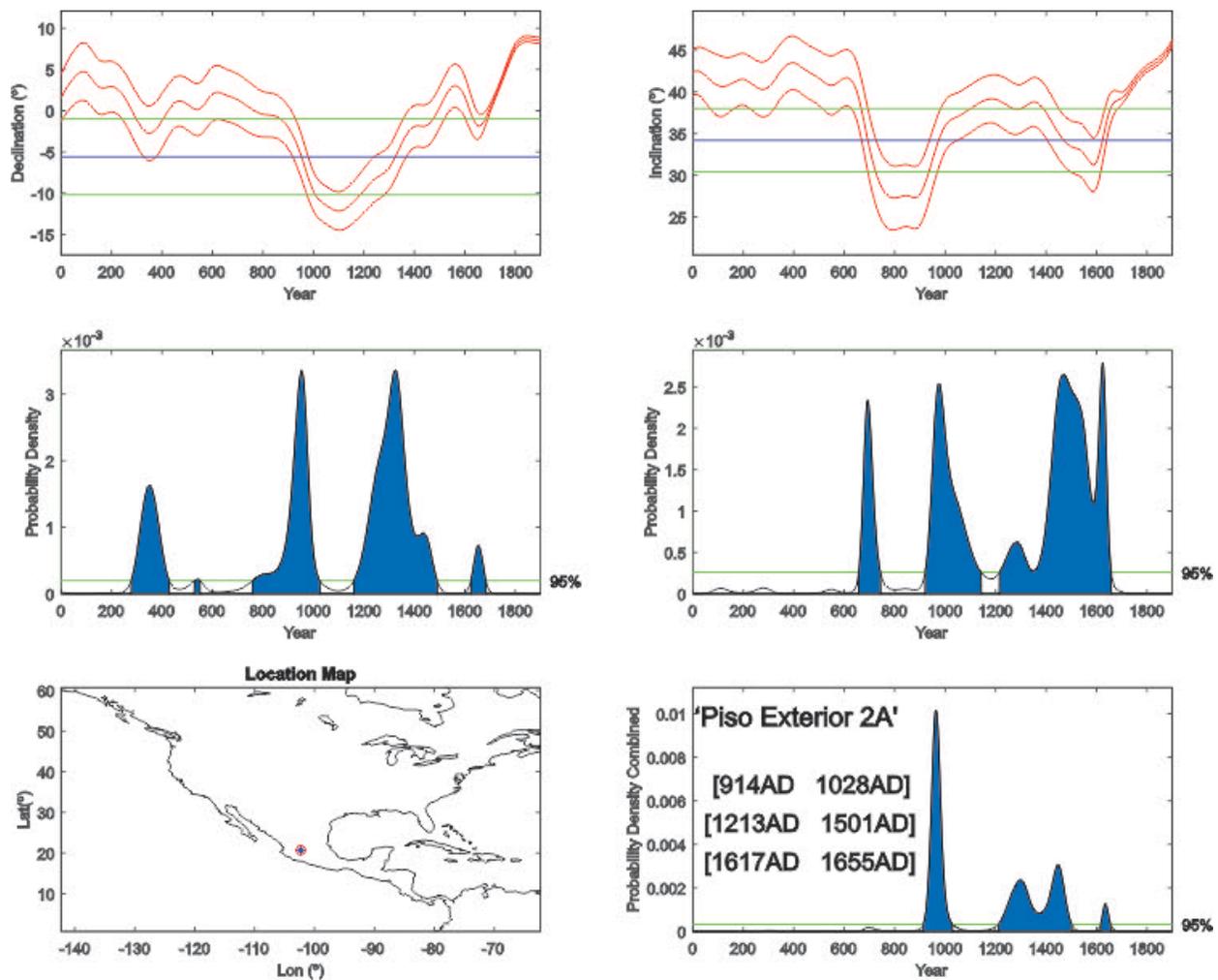


Figura 11. *Idem*, Piso Exterior.

Interpretación de los resultados

Dada la relativa cercanía con otros poblados prehispánicos como es el caso de la zona arqueológica de Plazuelas (Morales, 2015), asentado en las estribaciones al sureste de Los Altos de Jalisco, área también conocida como Sierra de Pénjamo, Guanajuato o bien el sitio arqueológico de Zaragoza/Cerro de los Chichimecas (Fernández, 2016) en la frontera poniente del Bajío, poblaciones prehispánicas con las que convivieron tem-

poralmente en el periodo Epiclásico y con los que suponemos tuvieron algún contacto relacionado con el comercio o una interacción de tipo político, religioso y/o comercial.

Suponemos una probable relación con tradiciones culturales más tempranas como es de los “patios hundidos” o Tradición Bajío que influyo arquitectónicamente en Cerrito de Los Agaves donde tenemos la presencia de un patio cerrado y un patio hundido, que decir sobre el Altar Central del patio cerrado o Plaza Principal que por su gran tamaño inferimos que es una muestra física plasmada en la arquitectura del sincretismo religioso entre diferentes tradiciones culturales.

Asociado a estas características arquitectónicas, podemos observar también un patrón muy similar en los tipos cerámicos rescatados durante la primera temporada de excavación en el Cerrito de los Agaves. Aunque fueron pocos los materiales diagnósticos que pudimos recuperar, se pueden observar tipos muy característicos del periodo Epiclásico como son los cajetes trípodas, algunos con dibujos incisos, las ollas con borde engargolado, así como algunos fragmentos de copas o copas pedestal (Figura 12). La mayoría de los materiales no presentaba decoración, sin embargo, había algunos pocos con dibujos de líneas geométricas de color rojo sobre bayo y otros de rojo sobre blanco que concuerdan como lo han registrado López Mestas y Mandujano (2007) para el periodo Epiclásico entre el 600 y 900 d.C.

A manera de conclusión, al parecer el periodo de ocupación principal de Cerrito de Los Agaves es entre los años 600 y 1000 de nuestra era, la presencia de petrograbados sobre todo de los llamados pecked cross encontrados en las inmediaciones del sitio, son una evidencia de relaciones con el Centro de México, en especial con Teotihuacán, si consideramos que estas evidencias aparecen en el Occidente posterior a su caída (650 d.C.), entonces existe una ocupación importante hacia estos tiempos. Por otro lado, las otras evidencias que encontramos durante las excavaciones, sobre todo los derrumbes por causas naturales, así como de suelos residuales observados en el altar y en la escalinata de la estructura (Montículo Principal) nos permiten inferir un abandono pacífico del sitio, que por cierto difiere por muy poco con la destrucción y abandono de Plazuelas (Morales, 2015) como se puede observar en la Tabla 1, por lo que estamos hablando

de un movimiento poblacional general en la región tanto del Bajío como de los Altos de Jalisco.

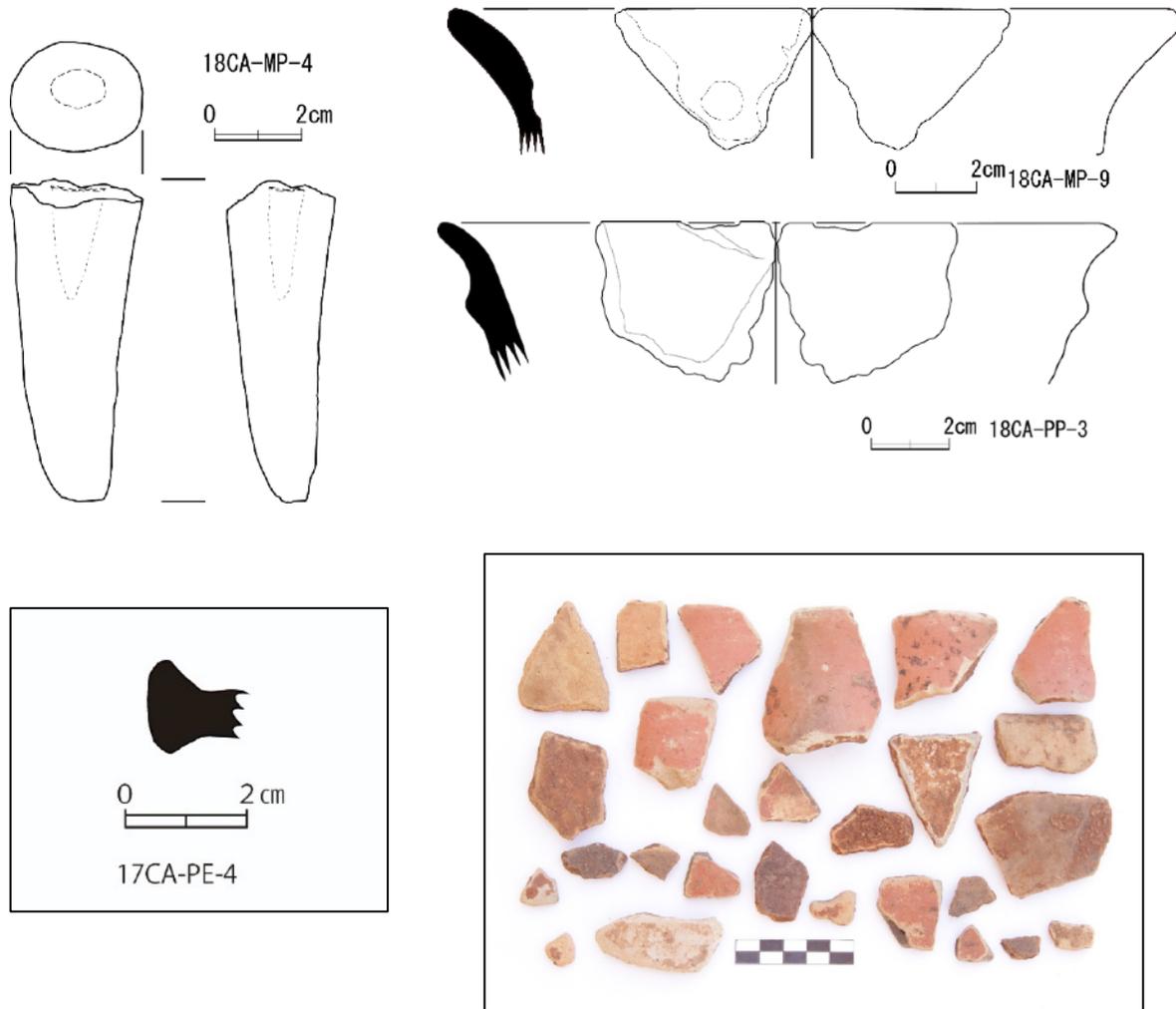


Figura 12. Se observan los materiales cerámicos de las excavaciones en Montículo Principal y Altar Central.

En la siguiente Tabla también podemos observar otros fechamientos de Los Altos de Jalisco, las cuales en su mayoría son muy similares a las que tenemos para el sitio de El Cerrito de los Agaves. Cabe mencionar que las primeras siete, son por Carbono 14 y las últimas 3, son por arqueomagnetismo.

Autor	Sitio o Región	Fecha
Betty Bell (1974)	Teocaltiche	100-250 d.C.
Román Piña Chan (1976)	El Cuarenta en Lagos de Moreno	Fase I: 500-750 d.C. Fase II: 750-1000 d.C.
Beatriz Barba y Román Piña Chan (1980)	El Cerrito en el Valle de Guadalupe	600-650 a 1100-1150 d.C.
Jorge Ramos y Lorenza López (1992)	San Juan de los Lagos, Unión de San Antonio y Lagos de Moreno	Fase I: 200 a.C.-300 d.C. Fase II: 300-900 d.C.
Blas Castellón Huerta (1993)	Atotonilco-Arandas	100-900 d.C.
Alfonso Araiza (1999)	Lagos de Moreno	Fase Lagos 350-400 a 700-800 d.C.
Antonio Porcayo (2002)	Lagos de Moreno	Fase I: 802-950 d.C. Fase II: 950-1028 d.C.
Morales et. al. (2015)	Plazuelas	907-997d.C. (Abandono)
García Pimental et.al. (2020)	El Cópore	Fase I: 600-1000/1100 d.C. Fase II: 1300-1500 d.C.
Proyecto Presa de la Luz	Complejo Cerrito de los Agaves	914-1028 d. C. 1025-1125 d.C. (Abandono)

Tabla. Fechamientos publicados de los Altos de Jalisco por diferentes autores. (tomado de Porcayo 2002 y reeditado por Rodrigo Esparza 2016).

Siglos después de este repliegue los grupos nómadas mejor conocidos como Chichimecas ocupan de nuevo la región llevando consigo un nuevo modo de vida distinto al de los antiguos habitantes. En los Altos, los Guachichiles y Tuxcuecos subsisten explotando los recursos del medio ambiente dejados por los sedentarios e incluso en algunos lugares tienden campamentos sobre los asentamientos abandonados; a pesar de esto la evidencia arqueológica muestra que los guachichiles nunca tuvieron la misma densidad poblacional que los antiguos alteños y, de hecho, en la mayoría de los casos

habitaban en los lugares más inaccesibles de la región, aunque no hemos encontrado evidencia de esta ocupación cercana al Cerrito de los Agave. Estos grupos subsistieron un par de siglos hasta que su espíritu indómito fue sometido por los españoles.

Referencias

- Araiza, J.A. (2000). *Estudio Arqueológico del Valle del río de Lagos, Jalisco*, (Tesis de licenciatura, inédita) Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- Barba de Piña Chan, B. y Piña Chan, R. (1980). El Cerrito del Valle de Guadalupe, Jalisco. En *Homenaje a Román Piña Chan*, pp. 467-520, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Bell, B. (1974). "Excavations at Cerro Encantado, Jalisco". En: *The archaeology of West Mexico*. B. Bell (ed)., Sociedad de Estudios Avanzados del Occidente de México. Ajijic, Jalisco, México.
- Castellón, B. (1993). "Cerámica de la región de Atotonilco-Arandas, Altos de Jalisco". En: *Arqueología. Revista de la Coordinación Nacional de Arqueología del INAH. Segunda Época 9-10*. Pp. 49-59. México
- Dunlop D.J. y Özdemir, Ö. (2015). Magnetizations in Rocks and Minerals. In: *Treatise on Geophysics*. Elsevier, pp 255-308.
- Dunlop D.J., Özdemir Ö., (1997). *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*, Cambridge Univ. Pres

- Esparza, R. y Rodríguez, F. (2016). *El Santuario rupestre de los Altos de Jalisco. Participación comunitaria para la conservación del patrimonio cultural y natural en Jesús María, Jalisco*. PECDA-Jalisco y El Colegio de Michoacán, A.C.
- Esparza, R., Rodríguez, F., Yoshida, T. y Rétiz, M. (2018). Informe Técnico de la Cuarta Temporada del Proyecto Arqueológico Presa de la Luz, Municipio de Jesús María, Jalisco. Informe al Consejo de Arqueología del INAH. Manuscrito inédito.
- Fernández, E. (2016). "La región del Lerma medio como un umbral estratégico durante el epiclásico", en: *Umbrales de Michoacán. Regiones fronterizas y límites territoriales*. Octavio Augusto Montes y Carlos Herrejón Peredo (editores). El Colegio de Michoacán, A.C. Zamora. Pags. 19-34.
- Fisher R. (1953). Dispersion on a Sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 217, 295-305.
- Kirschvink J.L. (1980) The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data, *Geophys. J. R. Astronomical Soc.* 62, 699-718.
- López-Mestas Camberos, L. y Montejano, M. (2003). Investigaciones arqueológicas en La Higuera, Talall, en *Revista del Seminario de Historia Mexicana*. Coord. E. Cach, México, Universidad de Guadalajara, Vol. IV, No. 1, primavera 2003, Guadalajara, México, pp. 11-33.
- López-Mestas Camberos, L. y Montejano, M. (2009). El complejo El Grillo del centro de Jalisco: redes de intercambio y poder durante el Clásico tardío, en *Las sociedades complejas del Occidente de México en el mundo mesoamericano. Homenaje a Phil C. Weigand*. Eds. E. Williams, L. López Mestas y R. Esparza, México, El Colegio de Michoacán, Zamora, México, pp. 135-161.
- Montejano, M.C. (2007). *El Complejo el Grillo en la Porción Oriental del Valle de Atemajac, Jalisco. Desarrollo Cultural en Tonalá, Durante el Clásico Tardío/Epiclásico (450-900 d.C.)*,

Tesis Profesional de Licenciatura, Universidad Autónoma de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, 244 p.

Morales, J., Castañeda, C., Cárdenas, E., Goguitchaivili, A. (2015). Nuevas evidencias sobre la edad de abandono del sitio arqueológico Plazuelas (Guanajuato, México) mediante la datación arqueomagnética de un piso quemado. *Arqueología Iberoamericana*, 28, pp. 40-45.

Pavón-Carrasco F. J., Rodríguez-González J., Osete M. L., Miquel J. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic 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 archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 388, 98-109.

Piña Chan, R. y Taylor, J. (1976). Cortas excavaciones en el Cuarenta, Jalisco. Departamento de Monumentos Prehispánicos, INAH, México.

Porcayo, A. (2002). *Testimonio de una colonización efímera. Historia pre chichimeca de Lagos de Moreno, Jalisco*. México, CONACULTA-INAH, Archivo Histórico Municipal, Lagos de Moreno.

Prévot, M., Mankinen, E. A., Grommé, S. y Lecaille, A. (1983). High paleointensities of the geomagnetic field from thermomagnetic studies on rift valley pillow basalts from the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88(B3), 2316-2326.

Capítulo 7

Una interpretación de la Cueva de la Huachizca, Santa Clara del Cobre, Michoacán, México.

Resumen

La Cueva de la Huachizca se encuentra en la zona de bosques húmedos cercanos a Santa Clara del Cobre, Michoacán. Durante el periodo Postclásico (1300-1520 d.C.), Santa Clara del Cobre fue parte del Señorío Tarasco. Fuentes etnográficas mencionan que la Cueva de Huachizca fue lugar de refugio durante la Guerra Cristera (1926-1929). Investigaciones recientes reportan inscripciones de los años 1800s y un panel de arte rupestre. El panel consiste en petroglifos picoteados que representan a un hombre frente a un águila, sobre un motivo de sol en espiral. El análisis del panel sugiere que el arte en roca fue creado en tiempos prehispánicos, probablemente por los Tarascos del Postclásico. Como se observa en varias regiones de Mesoamérica, para los Tarascos, las cuevas fueron espacios liminales y tenían un papel importante en la cosmología Tarasca del Postclásico. También se recuperaron una *resinera* cerámica, depósito de resina de pino, una pluma de águila y carbón. La *resinera* fue fechada por investigadores del Servicio Arqueomagnético del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México-campus Morelia, Michoacán. La datación arqueomagnética de la *resinera* ubica su último uso entre 1921 y 1980. Estos hallazgos sirven para validar la memoria social de la comunidad, y legitima aún más a la Cueva de la Huachizca como un importante sitio histórico y arqueológico. Relatos etnográficos y etnohistóricos describen a las cuevas como espacios sagrados, casas de fertilidad y de deidades de la lluvia, una idea que, aunque levemente transformada, ha superado más de 500 años de colonización y permanece en la memoria social de las comunidades.

Palabras clave: Michoacán, México, Tarascos del Postclásico, arqueología de cueva, echamiento arqueomagnético, Mesoamérica.

ABSTRACT

Cueva de la Huachizca is located in the humid forests of modern-day Santa Clara del Cobre, Michoacán. During the Postclassic period (1300-1520 AD), Santa Clara del Cobre was a part of the Tarascan *Señorio*. Ethnographic accounts describe the use of Cueva de la Huachizca as a place of refuge during the Cristero Rebellion (1926-1929). Recent investigations suggest a longer history of use including inscriptions from the 1800's and a rock art panel. The panel consists of pecked petroglyphs depicting a man facing an eagle, above a spiral sun motif. Analysis of the panel suggests that the rock art was created during pre-Hispanic times, likely by the Postclassic Tarascans. As observed in several regions of Mesoamerica, for the Tarascans, caves were also liminal spaces and had an important role in Postclassic Tarascan cosmology. A ceramic *resinera*, a pine resin pot, an eagle's feather, and charcoal were also recovered. The *resinera* was dated by researchers at Archaeomagnetic Services, Geophysics Institute at the National Autonomous University of México-Campus Morelia, Michoacán. The archaeomagnetic dating of the *resinera* locates its last use between 1921 and 1980. These find serves to validate the community's social memory, further legitimizing Cueva de la Huachizca as an important historic and archaeological site. Ethnographic and ethnohistoric accounts describe caves as sacred spaces, houses of fertility and rain deities, an idea that while slightly transformed, has surpassed over 500 years of colonization and remains in the communities' social memories.

Key Words: Michoacán, México, Postclassic Tarascans, cave archaeology, archaeomagnetic dating, Mesoamerica.

Introducción

La cueva de Huachizca está situada en los bosques húmedos del municipio de Santa Clara del Cobre cerca de los sitios arqueológicos de Itziparátzico y Lago de Zirahuén (Figura 1). Durante el periodo Postclásico (1300-1520 dC), Santa Clara del Cobre fue parte del *Señorío* Tarasco. El *Señorío* fue dividido entre tres capitales, Ihuatzio, Pátzcuaru y Tzintzuntzan, el principal centro político-religioso, donde el *Cazonci*, líder supremo, controló un imperio multi-étnico que abarcaba más de 75 000 kilómetros cuadrados incluyendo al cercano sitio de Itziparátzico (Alcalá, 2008 [1541]; Pollard, 2008; Punzo-Díaz, 2014) (Figura 1). Éste consistía de una serie de ciudades-estado tributarias unidas por el linaje de Uacúsecha o Hombre Águila (Alcalá, 2008 [1541]; Pollard, 2008). Santa Clara del Cobre pertenecía a Itziparátzico, una de las ciudades más grandes e importantes dedicadas a la orfebrería (Alcalá, 2008 [1541]; Maldonado and Rehen, 2009; Punzo-Díaz 2014).

La cueva fue registrada científicamente por primera vez en 2014 por el *Proyecto Arqueología y Paisaje del Área Centro-Sur de Michoacán* (PAPACSUM), dirigida por José Luis Punzo-Díaz (Punzo - Díaz et al. 2015). Un estudio preliminar describe la cueva como pequeña, compuesta de una sola cámara (Punzo - Díaz et al. 2015). La cueva se volvió a inspeccionar como parte de *Reconocimiento de las Cuevas Tarascas*, un subproyecto del PAPACSUM 2016-2017. Este estudio encontró un pasaje que se dirige hacia el norte de la cámara conocida que finalmente condujo a una segunda, con entrada parcialmente bloqueada. En total, se mapearon 109 m de pasaje de cuevas, lo que la convierte en una de las cuevas más largas de la zona.

Según informantes de la *Huatápera*, un hospital de la época colonial transformado en Museo Comunitario y espacio de encuentro de la comunidad Indígena, en Santa Clara del Cobre, la cueva se conoce desde hace siglos, pero pocos la exploran. Los informantes compartieron que las cuevas han sido conocidas como lugares de refugio desde la Revolución Mexicana (1910-1920) y la Rebelión Cristera (1921-1926) (comunicación personal, 2017). Según los registros etnográficos, la legislación en 1902 y 1904 ordenó la redistribución de la propiedad comunal indígena para la introducción de ganado o cultivos comerciales deseados por el gobierno de México.

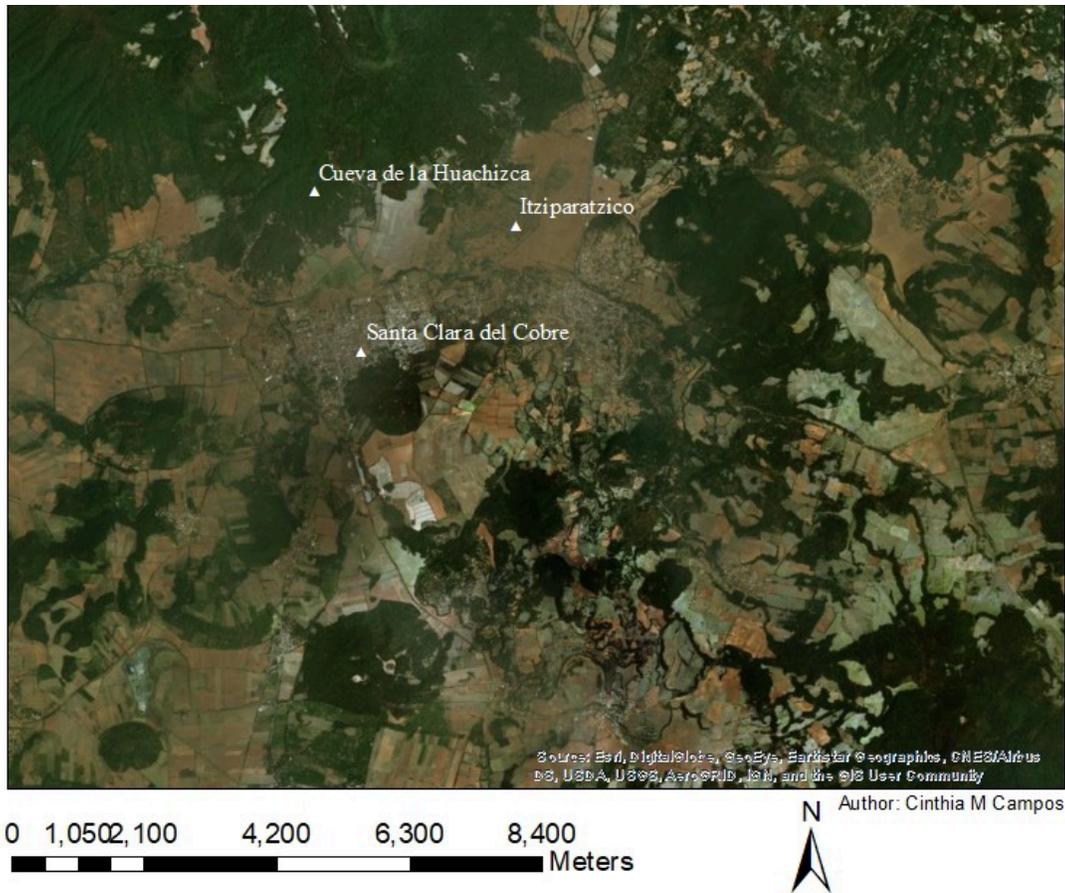


Figura 1. La Cueva de la Huachizca, ubicada en Santa Clara del Cobre está asociada con el sitio Tarasco del Posclásico de Itziparatzico. El mapa muestra la cueva en relación con los tres principales sitios Tarasco del Posclásico en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Tzintzuntzan, Ihuatzio y Pátzcuaro. (Fuente del mapa: ESRI / ArcGIS)

Sin embargo, cuanto más frío, las regiones más montañosas y boscosas no eran adecuadas para estos fines; como resultado, la ubicación de la cueva siguió siendo parte de las tierras forestales comunales Indígenas (Carrasco, 1952: 16). En consecuencia, Carrasco sostiene que las comunidades que habitan estas regiones evitaron ser incorporadas al estilo de vida colonial de la hacienda, y por lo tanto pudieron conservar su cultu-

ra (Carrasco, 1952: 16). Hoy en día, todavía hay varias comunidades descendientes de habla purépecha en Santa Clara del Cobre, Pátzcuaro y Santa Fe de la Laguna entre otros. De hecho, el nombre “Cueva de la Huachizca” proviene de la palabra *vuaches*, que en purépecha se usa para referirse a jóvenes Indígenas (Gilberti, 1990 [1559]: 754). Los datos lingüísticos y etnográficos sugieren que la cueva puede haberse asociado y utilizado principalmente por la población Indígena local. A fecha, la cueva se considera un espacio liminal y está protegida por los miembros de la comunidad Indígena de la Huatápera.

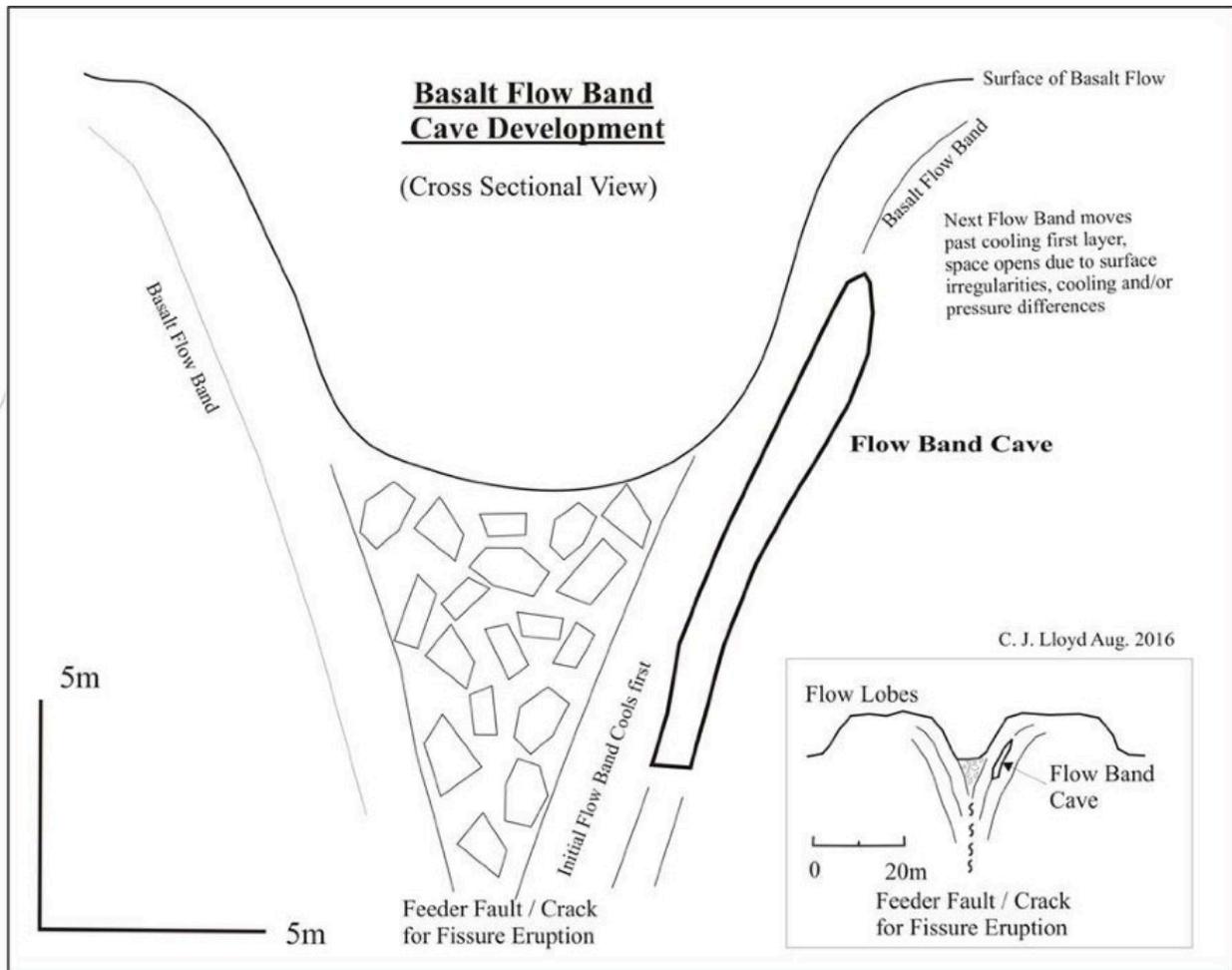


Figura 2. Vista en sección transversal de la formación de la cueva. (Cortesía del geólogo Christopher Lloyd, 2016).

Cueva de la Huachizca

Esta zona de Michoacán es parte del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano y por lo tanto no es kárstica. El geólogo Christopher Lloyd (comunicación personal, 2016) propone que esta es una cueva banda-flujo de basalto. Las cuevas banda-flujo se forman donde se desarrolló una abertura entre dos bandas de flujo, o diques de drenaje de tubos de lava, que se formó por la acreción de una de las bandas de lava que brotó de un fisura deslizándose hacia abajo durante el enfriamiento mientras que la fisura se volvió inactiva (Figura 2).

La Cueva de la Huachizca (Figura 3) consiste en un pasaje de una única grieta orientada de norte a sur que cae a unos 18 m de su longitud. La entrada sur o principal de la cueva está oscurecida por una gran ruptura y mide 3,5 m de ancho por 2 m de alto. Justo dentro de la entrada sur, la cueva se vuelve de varios niveles con un pasaje inferior paralelo al pasaje superior. El pasaje inferior se consideró inseguro y, por lo tanto, no se exploró más.

En junio de 2016, la cueva fue inspeccionada y mapeada. Esta cueva fue particularmente difícil de mapear porque está llena de fragmentos sueltos de basalto afilados y requiere cierta habilidad para escalar. Debido a la complejidad de la cueva, dos espeleólogos experimentados de Guadalajara asistieron al geólogo Christopher Lloyd y a Luis Rojas. A pesar de su tamaño relativamente pequeño, se necesitaron tres días para inspeccionar y cartografiar la cueva. La primera inspección se realizó con una brújula SUUNTO en tándem y clinómetro. El fuerte magnetismo en el interior interfirió en gran medida con nuestras lecturas de azimut, lo que nos obligó a para reiniciar el levantamiento usando un transportador y dos láseres. Como parte del estudio de superficie, los artefactos fueron fotografiados, registrados y recolectados para análisis de laboratorio posteriores. Se dedicó una tercera visita a grabar, fotografiar y rastrear el panel de arte rupestre.

El uso histórico de la cueva es atestiguado por la presencia de pinturas. Con la excepción de la pintura histórica y contemporánea, y la mínima basura en el pozo cerca de la entrada sur, la cueva estaba libre de escombros. Directamente en la entrada, una cruz de

estilo español de 10 cm de altura por 6 cm de ancho incide en el basalto en la pared que da al norte. Los muros este y oeste de la entrada sur contienen múltiples grabados de nombres y fechas de personas que habían visitado la cueva a finales de 1800 y principios de 1900. Fueron encontrados menos graffitis en el pasaje norte y ya no se observaron a 50 m al norte de la entrada.



Figura 3. Los mapas de planta y perfil de la Cueva de la Huachizca muestran las dimensiones y la complejidad de la cueva. La ubicación del panel de arte rupestre y la pluma está marcada con un círculo en el plano del mapa.

Al sur de la entrada principal hay una cámara espaciosa que mide 9,5 m de largo por 3,5 m de ancho y 3 m en su punto más alto. Dentro de la cámara sur, las paredes están formadas por basalto fracturado por el que entra poca o ninguna luz. Se encontró un pozo de saqueo en la esquina sureste de la cámara, siete metros al sur de la entrada. El pozo circular, de 75 cm de diámetro y 5 y 10 cm de profundidad, parece haber sido excavado en la antigüedad pues el suelo y los fragmentos se han comenzado a acumular en su fondo. No se encontraron artefactos en esta área de la cueva.

Como la cueva carece de tragaluces, todos los artefactos documentados en la cueva se encontraron en zona de oscuridad. A 17 metros al norte de la entrada sur, se descubrió el primer artefacto, una *resinera* de cerámica parcialmente rota, una maceta herty. Las macetas herty fueron colocadas en pinos para recolectar trementina de cortes en la corteza, pero cuando se enciende, pueden funcionar también como una lámpara de resina. Las *resineras* se utilizaron desde la época colonial hasta el período histórico. La *resinera* mide 17 cm en de altura, 20 cm de diámetro y 2-3 cm de espesor. Se encontró alojado entre dos losas de basalto. Parece haberse caído y roto, pero quedó atrapado entre las rocas antes de caer al pasaje inferior. La *resinera* estaba llena de resina de pino carbonizada y pequeñas fibras orgánicas posiblemente utilizadas como astillas. Las condiciones de la cueva y la ubicación de la lámpara de cerámica permitieron una excelente conservación de la lámpara y su contenido.

A 63,52 m al norte de la entrada sur, se incidió un panel de arte rupestre en la pared este (Figura 4). El panel está grabado en una sección plana de basalto, libre de estalactitas de lava. Es de destacar porque aquí, el pasaje se abre a una altura de 3,5 m, con un metro completo de superficie para caminar, contrario a los estrechos pasajes inclinados de 0,5 m de ancho, que se encuentran en gran parte del resto de la cueva. En su punto más alto, el panel de arte rupestre se encuentra a 1,60 m sobre el suelo, a la altura de los ojos para un individuo de estatura baja a media.

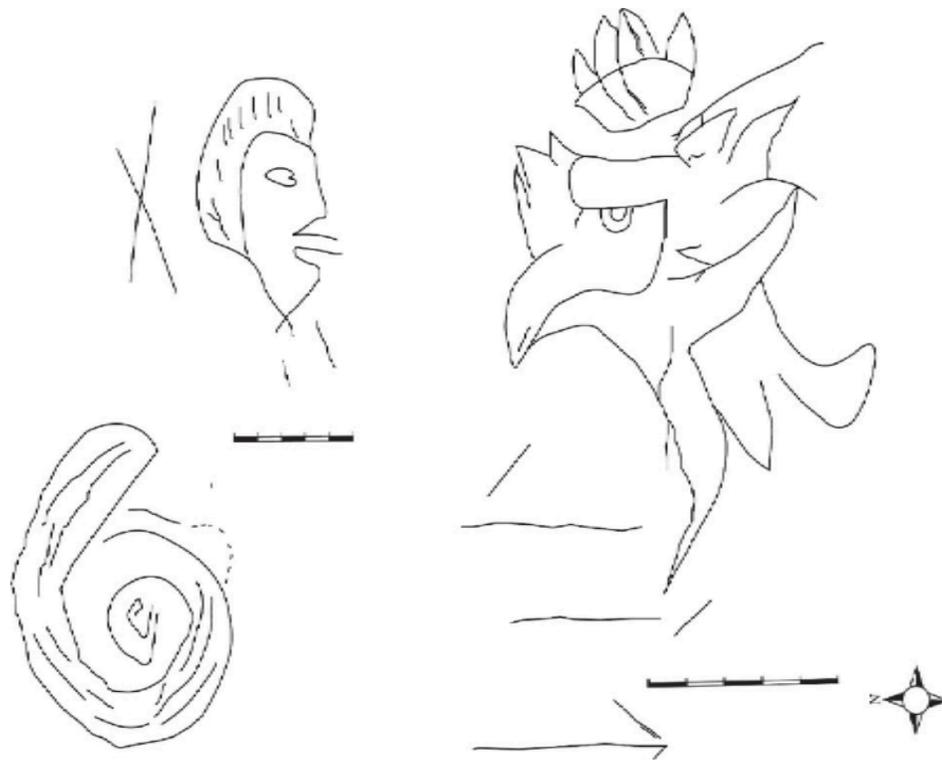


Figura 4. El panel de arte rupestre de la Cueva de la Huachizca muestra a un hombre frente a un águila sobre un motivo en espiral hacia adentro y una flecha apuntando en dirección sur.



Figura 5. Un primer plano de la pluma (izquierda) y la pluma, demostrando su integridad sin marcas de roedores o pico.

El panel, de 2,15 m de largo por 1 m de alto, consiste en cuatro motivos. Un motivo de espiral claramente definido se encuentra en el cuadrante inferior noroeste del panel, el motivo es similar a los registrados en Tzintzuntzan (Gomez-Mussent, 2010; Olmos, 2010; Rodríguez-Mota, 2012). Encima y al este de la espiral hay una imagen claramente definida de la cabeza de un hombre con el cabello peinado hacia atrás y su boca abierta. El hombre está al mismo nivel que una cabeza de águila. El cuarto motivo no se vio hasta que volvimos a trazar el panel de arte rupestre. Mientras se trazaba el panel, un objeto parecido a una corona apareció sobre la cabeza del águila que fue difícil de distinguir en las fotografías. La corona no está tan profundamente marcada como las otras imágenes; es muy delgada y débil comparado con el hombre, la espiral y el águila que parecían haber sido trazados varias veces. Esto nos lleva a creer que pudo haber sido agregado más tarde y quizás utilizando diferentes herramientas. Finalmente, al nivel del glifo en espiral hay una línea y una flecha apuntando al sur hacia la entrada.

En una repisa del muro occidental a 1,5 m del suelo y frente al panel de arte rupestre, se encontró una pluma. La pluma, de 27,5 cm de largo por 6 cm de ancho, está desgastada, mantiene su tamaño y color (Figura 5). El biólogo Dr. Jorge Schondube, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Morelia- Morelia, identificó la pluma como pluma primaria y su tamaño, coloración y características indican que pudo haber pertenecido a un águila real (Schondube, comunicación personal 2016). Las imágenes ampliadas de la pluma muestran su cálamo o punto hueco intacto, lo que sugiere que la pluma no fue traída por un animal. La pluma se encuentra en asociación con tres pequeños trozos de carbón. Aunque se desconoce si los dos fueron introducidos al mismo tiempo o por los mismos individuos. El piso del pasaje debajo del panel de arte rupestre, estaba cubierto de leña quemada y carbón. Se encontró más evidencia de quemaduras acercándose a la entrada norte. Se desconoce cuándo se colocó la pluma en la cueva, sin embargo, parece haber sido colocado deliberadamente arriba en una repisa a través del panel de arte rupestre, sugiriendo que era como una ofrenda. Independientemente, el contexto y la integridad de la pluma son importantes, ya que sugiere que fue traída a la cueva por un humano. La ubicación de la cueva y la entrada oscura hace que el sitio sea difícil de encontrar a menos que uno ya tenga conocimientos previos o esté

familiarizado con el bosque, lo que indica que la cueva continuó siendo visitada, muy probablemente por miembros de la comunidad Indígena.

Resultados del fechamiento arqueomagnético

La resinera se analizó utilizando técnicas arqueomagnéticas en las instalaciones del Servicio Arqueomagnético Nacional de la UNAM-Morelia. Las mediciones de arqueointensidad absoluta se realizaron utilizando el método de doble calentamiento de Thellier (Thellier, 1959) modificado por Coe (1978). Para ello se utilizó un desmagnetizador de cámara única ASC TD-48 equipado con bobinas para producir campos magnéticos y un magnetómetro de giro AGICO JR6-A. Se fragmentó un pedazo de la lámpara en 6 especímenes y se comprimieron en pastillas de sal para facilitar su tratamiento como muestras paleomagnéticas estándar. La determinación de la intensidad (Figura 6) se realizó en 14 pasos de temperatura, entre temperatura ambiente y 560 °C. La reproducibilidad de la temperatura entre dos calentamientos a la misma temperatura fue inferior a 2 ° C, la intensidad de campo del laboratorio fue a 40 μT y se mantuvo con una precisión mejor que 0.1 μT . Durante el experimento se llevaron a cabo varios calentamientos de control, los denominados pTRM-checks. La dependencia de la TRM (magnetización termorremanente) al ritmo de enfriamiento se investigó siguiendo un procedimiento modificado al descrito por Chauvin et al. (2000). Al final de los experimentos, todas las muestras se calentaron tres veces más a 560 °C, para crear tres TRM consecutivas ((rápido (asistido por el laboratorio)/lento/rápido)) bajo el mismo campo de laboratorio. Para minimizar el efecto de anisotropía de la TRM, cada fragmento se divide en al menos seis muestras y se incrustó en pastillas de sal en seis posiciones ($\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$) en relación con la dirección de la muestra seleccionada a priori. El campo magnético es aplicado a lo largo de la dirección + Z. De esta manera, los efectos de anisotropía pueden cancelarse o al menos minimizarse drásticamente, como lo demuestran Morales et al. (2015).

SAMPLE	LAB CODE	N	Tmin-Tmax (°C)	f	g	q	B (μT) Corrected	σB (μT)
SCC1a	97V073A	11	200-560	0.81	0.89	17.5	45.59	1.2
SCC1b	97V074A	10	250-560	0.81	0.88	12.8	46.57	1.4
SCC1c	97V075A	9	250-540	0.75	0.79	5.7	39.14	1.6
SCC1d	97V076A	10	250-560	0.77	0.82	13.6	42.39	1.1
SCC1e	97V077A	9	250-540	0.79	0.78	6.6	49.44	2.1
SCC1f	97V078A	11	200-560	0.78	0.87	18.1	45.54	1.2

Tabla 1. Resultados de arqueointensidad a nivel de muestra. Tmin-Tmax: el intervalo de temperatura de determinación de intensidad; N: el número de pasos de calentamiento utilizados para la determinación de la intensidad; f, la fracción de NRM utilizada para la determinación de la intensidad; g: el factor de brecha; q: el factor de calidad definido por Coe et al. (1978); Bcorr: valor de arqueointensidad corregido por efecto de velocidad de enfriamiento.

Las seis muestras analizadas arrojaron determinaciones técnicamente aceptables (Tabla 1). Para estas muestras, la fracción f de NRM utilizada para la determinación varía entre 0,75 y 0,69, mientras que el factor de calidad q de 5,7 a 17,5; (Tabla 1). Los valores individuales de arqueointensidad obtenidos en este estudio varían de 39,14 a 49,45 μT, cuyo valor medio del fragmento es de 44,78 + - 1,43 μT . Los resultados de la datación arqueomagnética (Figura 7) utilizando el último modelo SHADIF14K de Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) se combinaron con los datos recuperados del Observatorio Geomagnético de Teoloyacan (Hernández Quintero et al. 2018) arrojando un intervalo de tiempo entre 1921 y 1980 como la mejor estimación para la resinera estudiada.

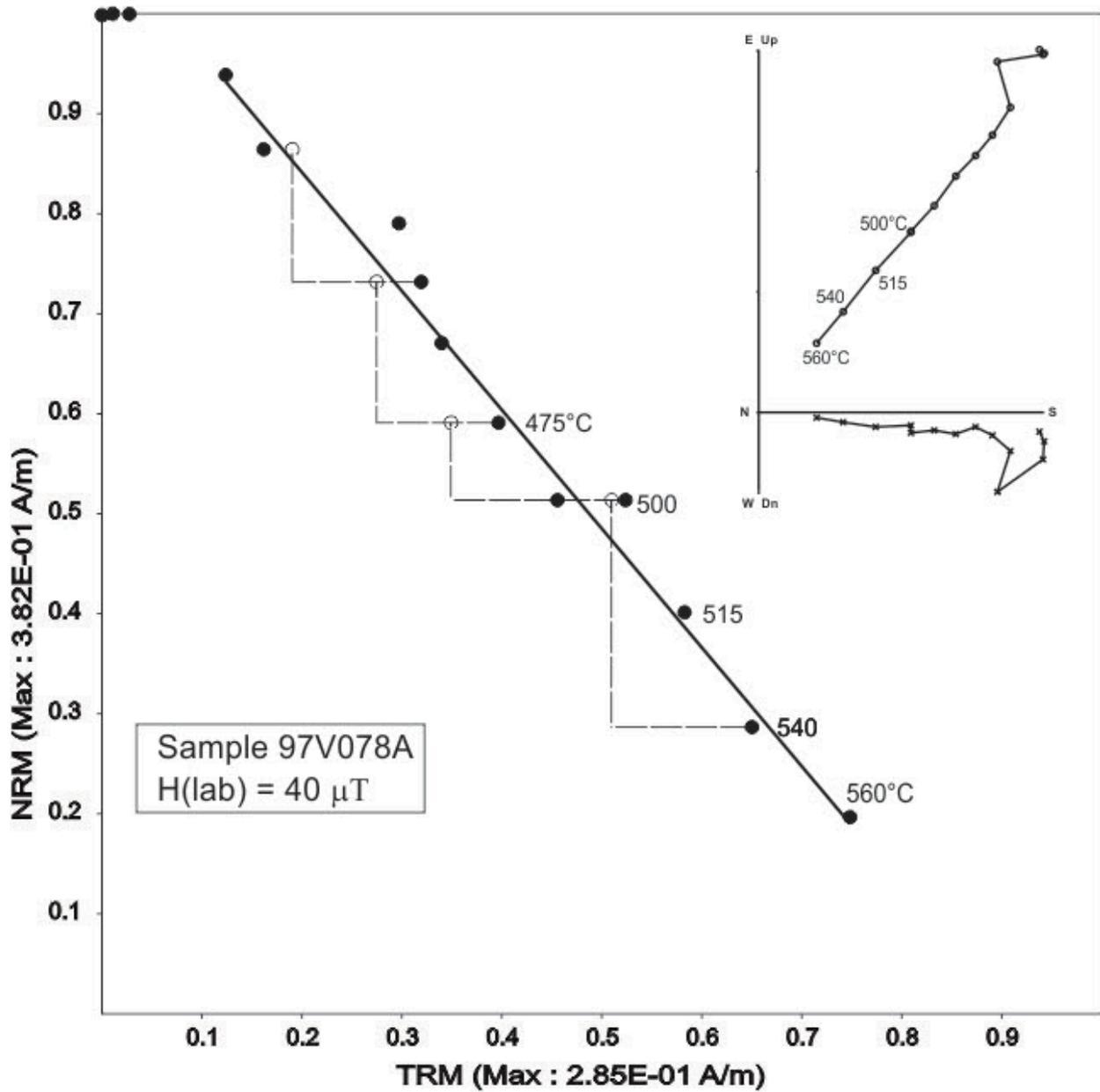


Figura 6. Magnetización natural remanente (NRM) representativa - gráfica de Magnetización Termorremanente (TRM), también conocidas como diagrama de Arai-Nagata y el diagrama de desmagnetización de Zijderveld asociado para la muestra representativa.

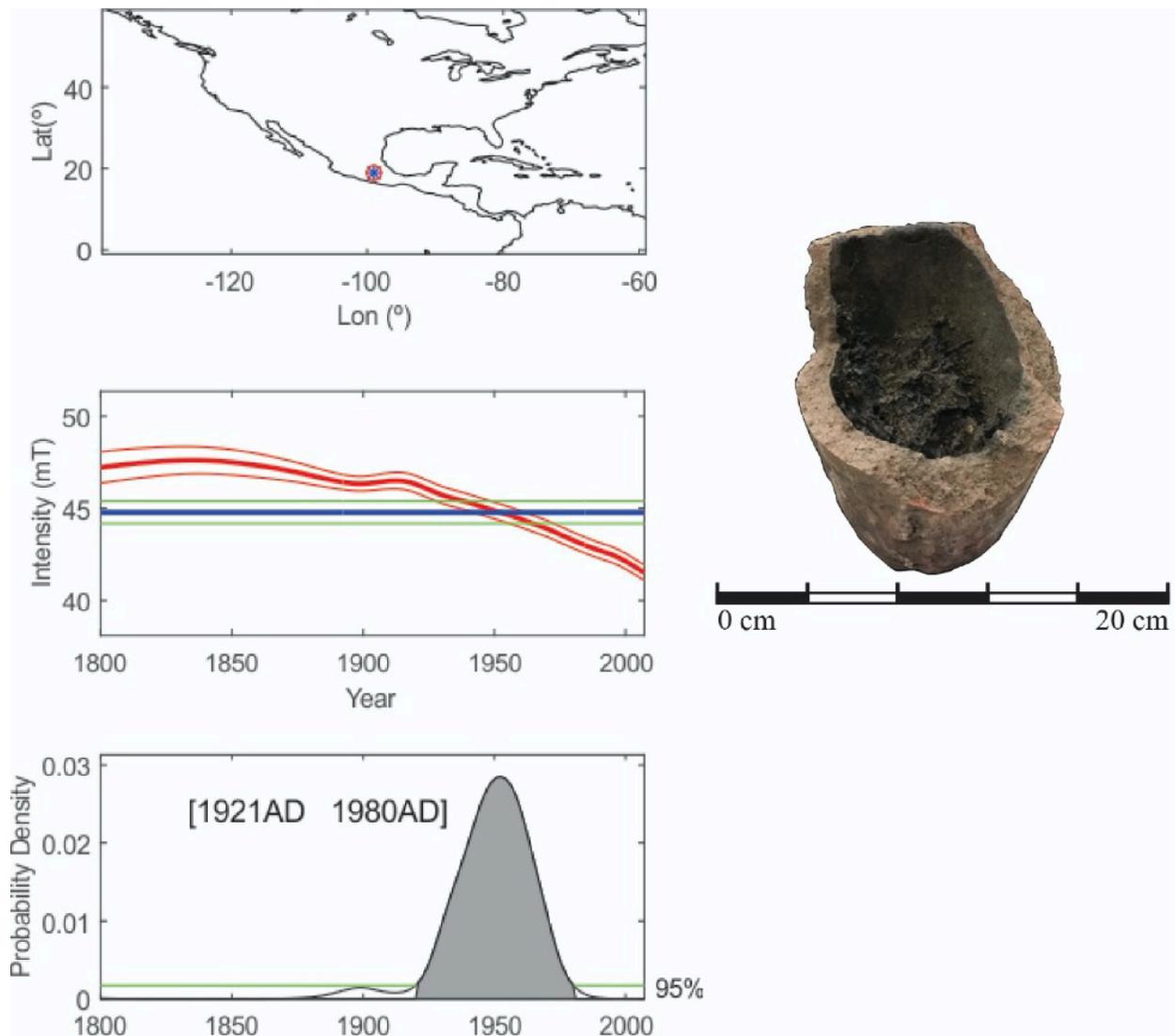


Figura 7. Datación arqueomagnética de la muestra de lámpara de cerámica utilizando la herramienta de MATLAB proporcionadas por Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) utilizando el modelo SHA14Kdif combinado con datos del observatorio por los últimos 100 años. Consulte el texto para obtener más detalles.

Discusión

La cueva está ubicada en el bosque en el municipio de Santa Clara del Cobre, que durante el periodo Posclásico fue un pueblo Tarasco llamado Itziparátzico. Itziparátzico consiste de áreas habitacionales diferenciadas, una amplia variedad de artefactos cerámicos y líticos, 30 pequeños montículos, y una gran yacata (Punzo-Díaz 2014). Itziparátzico fue un sitio importante, ya que fue el cruce de caminos que conectan las minas de cobre en la región de Tierra Caliente, con la Cuenca del Lago de Pátzcuaro donde residía el poder central de los Tarascos. Los metales jugaron un papel importante en administración y poder en la época pre-Colombina y su uso se limitó a la élite político-religiosa. Según la Relación de Michoacán, se consideraba que los metales amarillos como el oro y el cobre eran el excremento del fuego y la deidad solar, Curicaueri, su dios más venerado, también representado como un águila (Alcalá, 2008 [1541]; Pollard, 1993; Roskamp, 2005, 2010a). La asociación entre metales y minas (Roskamp 2010a) apoya aún más los relatos etnográficos por hablantes Purépecha que afirman que “cualquier abertura a la tierra” se considera una cueva (Rafael Ignacio Quiroz y Alfredo Hernández, comunicación personal, 2017). Según hablantes de Purépecha y apoyado por el Diccionario Grande Purépecha (Gilberti, 1990 [1559]), las cuevas son conocidas como jarhamita o inchatzecua, que se traduce en abertura, entrada o apertura (Gilberti 1990 [1559]: 44). En una región volcánica no kárstica, donde rara vez se forman cuevas, una cueva de este tamaño es digno de mención.

El arte rupestre que se encuentra dentro de la cueva difiere del arte rupestre registrado en otras partes de Michoacán, que generalmente consiste en líneas simplemente renderizadas, huellas de manos y otras formas de elementos geométricos (Olmos 2010). El arte rupestre se asemeja a imágenes dibujadas por informantes Indígenas en Códice Plancarte, Códice de Huetamo y el Lienzo de Jujucato o Jicalan (Corona-Núñez, 1986, Roskamp 2005, 2010b) (Figura 8). Esto sugiere que el panel de arte rupestre fue ta-

llado durante el Posclásico Tardío o el período Colonial. La ocupación cercana y la forma estilística apunta a la Tarascos antiguos como los creadores del panel de arte rupestre. Esta no es la única cueva de la región con arte rupestre asociado, según Gómez-Munssenth (2010: 57), hay una cueva asociada a un templo de época colonial y una yacata, ubicada en la isla de Xáracuaro, en el Lago de Pátzcuaro, que también tiene arte rupestre asociado a los Tarascos del Posclásico.



Figura 8. Ilustraciones del período de contacto de la nobleza Tarasca como se describe en el Códice de Carapan (Corona-Núñez, 1986). Curicaueri, la deidad suprema de Uacusecha representado como un águila que además es representada con una corona de estilo Español.

Es interesante el panel de arte rupestre dentro de la Cueva de la Huachizca, ya que los petroglifos no son uniformes, parecen haber sido fabricados en diferentes momentos. El águila, el hombre y toda la espiral son todos gruesos, lo que sugiere que es mucho más temprano. Las líneas de la "corona" sobre el águila son mucho más delgadas, más finas y menos profundas. La diferencia entre éstas y el resto del panel es tan marcada que sugiere que la "corona" se agregó más tarde y quizás con diferentes herramientas. Esto se sugiere además por el hecho de que todos los demás motivos del panel podrían ser de origen Indígena, mientras que la corona puede haber sido agregada más tarde durante el período colonial o quizás importación Española.

Sin embargo, esto no quiere decir que la corona no sea importante. Sugerimos que más tarde un visitante de la cueva agregó la corona sobre el águila para actualizar y dar una versión Española al motivo del águila. Curiosamente, el águila es un motivo temprano asociado con el gobierno en Mesoamérica. David Grove (1973) ha demostrado que las esculturas Olmecas denominadas "altares" son en realidad tronos. El Altar de La Venta 4 representa a un individuo que emerge de un nicho en el trono que representa iconográficamente una cueva. El individuo lleva un tocado en forma de águila. La identificación de la escultura como trono se basó en una pintura en la Cueva de Oxtotitlán en Guerrero que representa a un hombre sentado en un trono con la misma iconografía de jaguar que el Altar de La Venta 4. Se muestra al hombre sentado en un trono con un disfraz de águila. Por lo tanto, la conexión entre cuevas, águilas y gobernaciones se remonta al menos al 1000 a. C.

Los antropólogos han prestado mucha atención a una clase importante de rituales llamados "ritos de iniciación" (Heyden 1975, 2006). Arnold Van Gennep (1909) define los ritos de iniciación como ceremonias que marcaron transiciones en el estatus social, la edad y/o el espacio o en la ubicación. Él notó que éstos siguen un guión común en el que el individuo entra en un espacio liminal donde la ceremonia se realiza y luego

vuelve a entrar en el espacio normal con su nuevo estado. El espacio liminal se pone en marcha y da una forma diferente al espacio "normal", lo que hace que las cuevas sean espacios liminales ideales. Todos los individuos experimentan varios ritos de iniciación a lo largo de su vida, como el nacimiento, la pubertad, el matrimonio y la muerte.



Figura 9. Lamina 16 en la Relación de Michoacán muestra a los tres jóvenes realizando un auto-sacrificio dentro de una cueva al otro lado del lago de Pátzcuaro (Alcalá 2008 [1541], p.123).

Doris Heyden (1975, 2005) sostiene que las cuevas eran frecuentemente el escenario de los ritos de iniciación, particularmente el ascenso a la gobernanza. Esto está bien documentado el ritual de ascenso Azteca. El tlatoani pasó la noche rezando y sangrándose antes de asumir el cargo en el templo de Yopico. El templo era una cueva simbólica con un agujero en el suelo llamado oztoc, "cueva" (Townsend 1987). Un rito de iniciación similar se describe en el libro de Fray Jerónimo de Alcalá Relación de Michoacán (Alcalá, 2008 [1541]). Las narrativas describen a Tariacuri, el Cazonci y héroe tarasco a quien se le atribuye la unión y formación del Señorío Tarasco, quien ordenó a su hijo y a sus sobrinos, Hiquingaje, Hirípan y Tangaxoan respectivamente, a realizar autosacrificio

en una cueva (Alcalá 2008 [1541]: 102-103). La Lámina 16 (Alcalá 2008 [1541]: 102-103) muestra tres hombres jóvenes sentados alrededor de un fuego en una cueva con las orejas hinchadas y sangrando después de realizar el autosacrificio. (Figura 9). A su regreso de la cueva, Tariacuri los convierte en Señores y les asigna cada uno una parte de su patrimonio, creando las tres capitales tarascas, Pátzcuaro, Ihuatzio, y Tzintzuntzan. La Lámina 16 representa un rito de iniciación y muestra que entre los Tarascos, las cuevas también fueron lugares preferidos para los rituales de ascenso.

La asociación entre cuevas, águilas y gobernantes siguió siendo prominente incluso después de la Conquista Española (Roskamp 2005, 2010a, 2010b). Ilustrado en la esquina superior izquierda del escudo de armas la Ciudad de Tzintzuntzan de 1593 hay una cueva formada por siete rocas apiladas a lo largo de un cuerpo o agua. Junto a esto, hay una imagen de una isla en el medio del lago, que representa la Isla de Janitzio en el centro del lago de Pátzcuaro. Según Roskamp (2010b), la cueva es un símbolo de la historia de creación que describe la salida de los chichimecas de las siete cuevas del Occidente, o Chicomoztoc, y su migración a la cuenca del Lago Pátzcuaro (De la Rea 1996 [1639]). El escudo de armas se encuentra en el centro del cuerpo de un águila real y está sostenido por Harame y Hireti Thicatame, dos Señores Uacusecha descendientes de Tariacuri. La ilustración confirma las narrativas que describen cómo la autoridad se limitaba a los varones Uacusecha y muestra águilas y cuevas como símbolos de poder (Alcalá 2008 [1541], González-Martínez 2010, Roskamp 2005, 2010a, 2010b). Esto se apoya además en el período de contacto Tarasco Código de Carapan, en el que el águila que sostiene el escudo de armas también se representa con una corona (ver Figura 8). Por lo tanto, no es coincidencia que la "corona" sobre el águila en la Cueva de la Huachizca fuera grabada en un tiempo más tarde. Las similitudes artísticas entre el Código de Carapan y las imágenes encontradas en el basalto dentro de la Cueva de la Huachizca sugiere que fueron los nobles Tarascos de Itziparátzico quienes tallaron el panel de arte rupestre que ilustra un ritual realizado en la Cueva de la Huachizca.

Conclusiones

Este artículo presenta los resultados de un estudio arqueológico inédito de la Cueva de la Huachizca realizado por el PAPACSUM. Se ha prestado especial atención en el panel de arte rupestre que por motivos de rasgos de estilo parece datar del Posclásico Tarasco. El motivo del águila y la cueva muestran una asociación con la gobernanza desde los primeros tiempos de iconografía Mesoamericanos. La adición de una corona sobre el motivo del águila parece haber sido agregado después de la conquista lo que confirma nuestra interpretación. Sugerimos que el panel dentro de la cueva indique que la Cueva de la Huachizca pudo haber sido utilizada como parte de los rituales de iniciación en el ascenso de gobernantes del cercano sitio de Itziparatzico.

Nuestro estudio ha documentado una larga historia de uso de las cuevas con pinturas que registran las visitas que tuvo durante finales del siglo XIX y principios del XX. Las fechas sugieren su uso durante o después de la Revolución Mexicana. La datación arqueomagnética de la resinera hacia el siglo XX es significativo porque el rango temporal se superpone con la Rebelión Cristera, lo que confirma las historias descritas por informantes que describieron la cueva como un lugar de refugio para comunidades Indígenas. Finalmente, es importante señalar que la Cueva de la Huachizca es un sitio marcador del paisaje muy importante para los comuneros de Santa Clara del Cobre, y un lugar relevante en un muchas de sus historias familiares.

Referencias

- Alcalá, Fray J. (2008 [1541]). Relación de las ceremonias y ritos y población y gobernación de los indios de la provincia de Mechuacan. Estudio introductorio Jean- Marie G. Le Clézio Zamora, El Colegio de Michoacán/Gobierno del Estado de Michoacán Zamora, Michoacán.
- Borgstede, G. (2010). Social Memory and Sacred Sites in the Western Maya Highlands: Examples from Jacaltenango, Guatemala. *Ancient Mesoamerica* 21(2):385-392. Brady, J. E., Prufer, K. (editores). (2004). *En the Maw of the Earth Monster: Mesoamerican Ritual Cave Use*. University of Texas Press, Austin.
- Campos, C.M. (2018). Exploring Ancient Tarascan Ritual Cave Use in Central-Southern Michoacán, Mexico. Master's thesis, California State University, Los Angeles. ISBN: 0438070984, 9780438070981
- Carrasco, P. (1952). Tarascan Folk Religion: An Analysis of Economic, Social, and Religious Interactions. Preprinted from Publication 17, pp. 1-64. Middle American Research Institute, The Tulane University of Louisiana, New Orleans.
- Chauvin, A., Garcia, Y., Lanos, P., Laubenheimer, F. (2000). Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Phys. Earth Planet. Inter.* 120, 111-136.
- Coe, R.S., Grommé, S., Mankinen, E.A., (1978). Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *Journal of Geophysical Research* 83 (B4), 1740-1756.
- Corona-Núñez, J. (1973). *Mitología Tarasca*. Balsas Editores. Morelia, Michoacán, México.
- Corona-Núñez, J. (1986). *Tres Codices Michoacanos*. Volumen preparado por el Centro de Estudios sobre la Cultura Nicolaita - Editado por la Universidad Michoacana San Nicolas Hidalgo - Morelia, Michoacán, México.

- De la Rea, A., Escandón P. (1996 [1639]). Crónica de la Orden De N. Seráfico P.S. Francisco, Provincia de S. Pedro Y S. Pablo de Mechoacán en la Nueva España. Editado por Patricia Escandón Zamora, El Colegio de Michoacán. Fideicomiso Teixidor. Zamora, Michoacán, México.
- Hernández-Quintero, E., Goguitchaichvili, A., García-Ruiz, R., Cervantes-Solano, M., Cifuentes Nava, G. (2018). More than 100 Uninterrupted Years of Geomagnetic Record in Mexico: Implications in the Absolute Dating of Some Historic Buildings, *Arqueología Iberoamericana*, vol. 39, 36-44. 24
- Heyden, D. (1975). Los ritos de paso en las cuevas. *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 2(19):17-26.
- Heyden, D. (2005). Rites of passage and other ceremonial caves. In, *The Maw of the Earth Monster. Mesoamerican Ritual Cave Use*, J. E. Brady y K. M. Prufer (eds.). University of Texas Press, Austin.
- Gilberti, M. (1990 [1559]). Vocabulario en lengua de Mechuacán. Editado por J. Benedict Warren. 2 vols. Facsimile. Fuentes de la Lengua Tarasca o Purépecha, 2. Morelia: Filmax Publicistas. Morelia, Michoacán, Mexico.
- Gómez- Mussenth, Lilian Tatiana. (2010). Análisis contextual para la interpretación de los petrograbados de las islas del Lago de Pátzcuaro. Tesis de Maestría presentada al Departamento de Archaeología, El Colegio de Michoacán A. C., Michoacán, Mexico.
- González-Martínez, R. (2010). Alianza religiosa y realiza sagrada en el antiguo Michoacán. En, *Revista Española de Antropología Americana*, 41(1) 75-96. doi:10.5209/ rev_REAA.2011.v41.n1.4
- Grove, D. C. (1973). Olmec Altars and Myth. *Archaeology* 26 (2):128-135.
- Maldonado, B. and Rehren T. (2009). Early copper smelting at Itziparátzico, Mexico. *Journal of Archaeological Science* 36 (9): 1998-2006.

- Megged, A., & Wood, S. (2012). *Mesoamerican memory : enduring systems of remembrance*. Norman: The University of Oklahoma Press.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Olay, A., Carvallo, C., Aguilar Reyes, B., (2015). Archeointensity investigation on pottery vestiges of puertas de rolón, capacha culture: in search for affinity with other Mesoamerican prehispanic cultures. *Studia Geophysica et Geodaetica* 57, 605–626. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11200-012-0878-z>.
- Nielsen, Jesper and James E. Brady, (2006). The Couple in the Cave: Origin Iconography on a Ceramic Vessel from Los Naranjos, Honduras. *Ancient Mesoamerica* 17 :203-217.
- Olmos, Curiel, A. (2010). *Los petrograbados de Tzintzuntzan, Michoacán: Un sistema de comunicación gráfica*, Tesis de maestría, Centro de Estudios Arqueológicos, Colegio de Michoacán.
- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta, J.M. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science*. 38, 408–419. 25
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., De Santis, A., (2014). A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 388C, 98–109. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.046>
- Pollard, H. P. (2008). A Model of the Emergence of the Tarascan State. En, *Ancient Mesoamerica*, 19 (2008), 217-230. doi: 10.1017/S0956536108000369
- Punzo-Díaz, J.L. (2014). *Los Antecedentes Pre-Hispánicos de Santa Clara del Cobre*. En *Santa Clara del Cobre, Zona de Monumentos Históricos*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, México D.F.
- Punzo-Díaz, J.L., Castañón M., and González-González, L. (2015). *Proyecto Arqueología y Paisaje del Área Centro-Sur de Michoacán Informe Técnico 2014-2015. Parcial temporada 2015*. Archivo técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, México D.F.

- Punzo-Díaz, J.L. (2018). Paisaje y arquitectura en el mundo de los habitantes del Michoacán antiguo. En *Un patrimonio universal: las pirámides de México. Cosmovisión, cultura y ciencia*, Eds. Pedro Sánchez-Nava. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Gobierno del Estado de México.
- Ramírez, F. (1959 [1585]). Relación sobre la Resistencia de Michoacán (Pátzcuaro). En, *Monumenta Mexicana, 1581-1585, vol.2*, edited by Félix Zubillaga, 474-538. Rome: n.p.
- Rodríguez Mota, F. (2012). Representaciones rupestres como posibles indicadores del paisajecultural en el Municipio de La Piedad, Michoacán: Una propuesta. Tesis de Maestría presentada al Departamento de Arqueología, El Colegio de Michoacán A. C., Michoacán, Mexico.
- Roskamp, Hans. (2005). La metalurgia prehispánica y colonial en Jicalán, Michoacán, México: una prospección arqueológica. A project report presented to the Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Project #02011. <http://www.famsi.org/reports/02011es/02011esRoskamp01.pdf>.
- Roskamp, H. (2010a). Gods of Metals: Tlatlahuqui Tezcatlipoca and the Sacred Symbolism of Metallurgy in Michoacan, West Mexico. *Ancient Mesoamerica*, 21(1), 69-78.
- Roskamp, H. (2010b). The Nahuas of Tzintzuntzan-Huitzitzilan, Michoacán: history, myth and legitimization of a Prehispanic señorío. *Journal de la société des américanistes* [online], pp. 96-1, <http://journals.openedition.org/jsa/11264> doi: 10.4000/jsa.11264

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis representa un trabajo que combina dos áreas fundamentales: arqueología y geomagnetismo. Las determinaciones arqueomagnéticas y su estimación temporal, fundamentan, apoyan o descartan ciertas hipótesis acerca de los grupos prehispánicos que poblaron las regiones estudiadas del Occidente de México.

La calidad de los datos es sobresaliente al tratarse de estructuras arqueológicas in situ lo que garantiza la georeferencia de la magnetización obtenida. El hecho de ser estructuras con exposición al fuego garantiza una buena señal magnética durante los experimentos debido a que es la termo-remanencia la forma en que adquirieron magnetización. El proceso de lavados magnéticos y la respuesta de susceptibilidad magnética representaron información para evaluar estabilidad magnética de las muestras y en 4 casos fue posible obtener el vector arqueomagnético completo; mientras que para las 8 restantes se determinó las arqueodirecciones con parámetro de precisión $\alpha_{95} < 4^\circ$.

Los resultados de experimentos de rocas revelaron minerales de la serie de titanomagnetita como portadores de la magnetización en las muestras. La presencia de estos minerales en las estructuras arqueológicas estudiadas puede atribuirse a la presencia de productos volcánicos en Mesoamérica como se ha observado en los estudios arqueomagnéticos mexicanos.

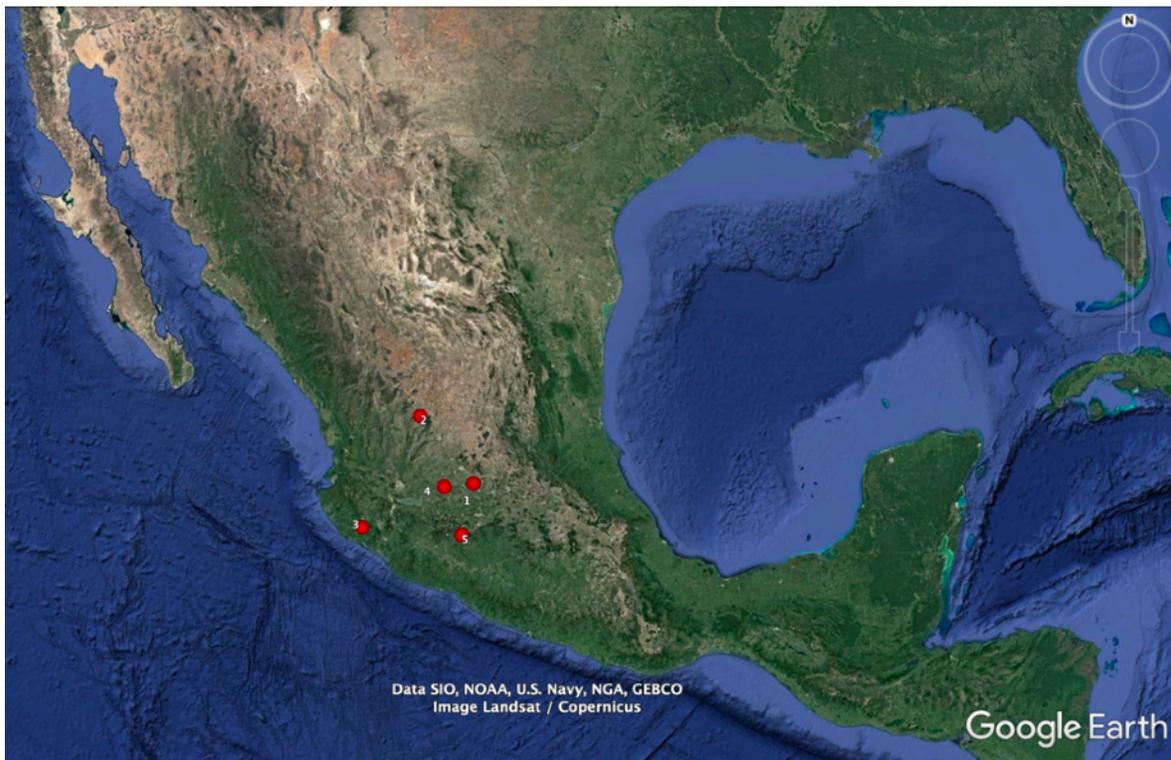
Las estimaciones de temporalidad fueron analizadas y discutidas estrechamente con los responsables de los proyectos arqueológicos, obteniendo las dataciones para cada sitio utilizando el modelo geomagnético global del pasado más adecuado para ubicación y contexto de muestras estudiadas.

En la siguiente Tabla se presenta el compendio de resultados presentados en orden cronológico a partir de las dataciones arqueomagnéticas, se indica sitio, estructura estudiada y la determinación de arqueodirecciones y arqueointensidad según el caso.

Período arqueológico	Datación arqueomagnética	Sitio	Estructura estudiada	Determinación arqueomagnética (D, I) H
Formativo superior	36 aC - 40 dC	Lo de Juárez, Guanajuato	Horno Estructura 2	(357.7° , 50.6°) $\alpha_{95}=3.6^\circ$ 58.73 ± 1.4 μ T
Clásico superior	693 - 947	La Quemada, Zacatecas	Fogón 2, Juego de Pelota	(358.9° , 33.4°) $\alpha_{95}=2.7^\circ$
Clásico superior	757 - 980	La Quemada, Zacatecas	Cavidad, Juego de Pelota	(354.7° , 33.1°) $\alpha_{95}=3.2^\circ$
Clásico superior	854 - 968	La Quemada, Zacatecas	Piso quemado, Plaza de los Sacrificios	(356.2° , 33.7°) $\alpha_{95}=2.1^\circ$ 40.6 ± 2.6 μ T
Posclásico temprano	931 - 1006	La Quemada, Zacatecas	Fogón 1, Juego de Pelota	(351.3° , 34.7°) $\alpha_{95}=2.6^\circ$
Posclásico temprano	973 - 1204	Lo de Juárez, Guanajuato	Fogón Estructura 1	(348.7° , 35.1°) $\alpha_{95}=1.8^\circ$
Posclásico temprano	1018 - 1163	La Quemada, Zacatecas	Piso quemado, Salón de las Columnas	(345.6° , 40.6°) $\alpha_{95}=3.4^\circ$ 56.5 ± 3.9 μ T
Posclásico temprano	986 - 1150	La Palma, Jalisco	Piso quemado, Estructura 1	(344.4° , 32.7°) $\alpha_{95}=3.8^\circ$
Epiclásico	914 - 1028	El Cerrito de Los Agaves, Jal.	Piso quemado exterior	(354.4° , 34.2°) $\alpha_{95}=3.8^\circ$
Epiclásico	1025 - 1155	El Cerrito de Los Agaves, Jal.	Piso quemado interior	(338.2° , 36.2°) $\alpha_{95}=3.8^\circ$
Posclásico tardío	1463 - 1623	La Quemada, Zacatecas	Fogón 2, Juego de Pelota	(358.9° , 33.4°) $\alpha_{95}=2.7^\circ$
Contemporáneo	1921 - 1980	Huachizca, Michoacán	Resinera cerámica	44.8 ± 1.4 μ T

Tabla de determinaciones arqueomagnéticas de los sitios arqueológicos estudiados en este trabajo. Organizadas en orden cronológico se muestra datación arqueomagnética, sitio, estructura estudiada y arqueodirección (Declinación e Inclinación) y arqueointensidad determinadas para cada caso.

En el siguiente mapa se indica la ubicación de los 5 sitios estudiados del Occidente de México, siendo Lo de Juárez y El Cerrito de los Agaves los más cercanos entre sí, La Quemada el sitio más al Norte, La Palma el más sur-occidental en medio de la Sierra de Manantlán, y la Cueva de la Huachizca en el estado de Michoacán ubicada en Santa Clara del Cobre.



Ubicación de los cinco sitios arqueológicos del Occidente de México donde se realizaron 12 determinaciones arqueomagnéticas: 1. Lo de Juárez, Jalisco; 2 de 2. La Quemada, Zacatecas. 3. La Palma, Manantlán, Jalisco. 4. El Cerrito de los Agaves, Altos de Jalisco. 5. Cueva de la Huachizca, Michoacán (Google Earth, 2021).

Al observar la distribución de los sitios y la tabla de resultados organizados cronológicamente podemos resaltar las siguientes implicaciones para cada caso:

- Lo de Juárez, Guanajuato.

La datación arqueomagnética para el Horno Estructura 2 es muy temprana y constituye un hallazgo para el sitio y la región, pues además de la estructura del horno esta sobre un sustrato de caliza natural con evidencia de modificación cultural. Lo cual plantea la pregunta de si los pobladores del Formativo superior del Bajío desarrollaron una tecnología inicial del uso de la cal, lo cual no se tenía contemplado para fechas tan tempranas como 36 aC a 40 dC. Si bien es aventurado asignar la estructura como un horno de producción de cal, nuestro resultado impacta la historia del sitio y da oportunidad de integrar otras técnicas arqueométricas para ampliar el conocimiento para el formativo superior de Lo de Juárez .

La segunda datación ubica en el Posclásico temprano el último uso del Fogón de la Estructura 1, donde hay clara evidencia de uso de la cal y presencia de carbonatos en el contexto estudiado. Es un resultado esperado ubicar este evento de ocupación del sitio entre el 973 y 1204, relacionado con el registro cerámico del sitio y de regiones cercanas con presencia de figurillas de la Tradición Chupícuaro. Este resultado arqueomagnético confirma las hipótesis de presencia de grupos humanos en Lo de Juárez para el Posclásico temprano .

- La Quemada, Zacatecas.

Los resultados en el sitio de La Quemada fueron muestreados y medidos por separado, pues para 2019 se encuentran los fogones y cavidad en la plataforma sur del Juego de Pelota monumental, mientras que la toma de muestra del complejo arquitectónico Plaza de los Sacrificios y Salón de las Columnas ya había sido reportado la datación.

Al analizar las 6 dataciones arqueomagnéticas del sitio se observa que para el Clásico superior se utilizó por última vez el Fogón 2 del Juego de Pelota hacia el 693 a 947, en consecutivo se presentó la quema de la Cavidad cercana al Juego de Pelota para el 757 - 980, y posteriormente se tiene el registro arqueomagnético del piso de la Plaza

de los Sacrificios quemado hacia 854 a 968. Resulta interesante esta progresión cronológica asociada al significado de los espacios en el sitio, mientras que La Plaza de los Sacrificios y el Salón de las Columnas fueron espacios para la élite ubicados espacialmente arriba y en resguardo de los espacios públicos y populares como el Juego de Pelota. Esto puede apoyar la hipótesis de que las diferentes fases culturales de La Quemada se debieron a insurrecciones populares y/o conflictos políticos, pues puede considerarse que los rituales de terminación con fuego en el espacio público hallan derivado en el incendio de las estructuras de la élite. Esto plantea el registro de eventos que pueden integrarse a la cronología específica del sitio conformada por varias dataciones de radiocarbono y reportados desde los años 70's del siglo XX.

Más aún, la datación arqueomagnética para el Fogón 1 del Juego de Pelota ubica el último uso hacia el 931 - 1006 y el incendio del piso del Salón de las Columnas sucedido entre 1018 - 1163, presentándose el mismo orden de eventos de fuego en el sitio pero ahora en el Posclásico temprano.

Se obtuvo una última datación asociada al Fogón 2 del Juego de Pelota que registra un evento de fuego hacia 1463 y 1623, lo cual confirma una re-ocupación de La Quemada para el Posclásico Tardío.

Un futuro análisis robusto de las dataciones de radiocarbono disponibles para diversas estructuras de La Quemada, y evaluando la factibilidad de correlación con el arqueomagnetismo, así como el diseño de nuevos estudios arqueométricos podrán dar respuesta sobre la dinámica de los grupos que ocuparon el sitio arqueológico más representativo de Zacatecas.

- La Palma, Manantlán, Jalisco.

Para La Palma sitio arqueológico prácticamente sin antecedentes de investigación arqueológica o histórica es un muy valioso contar con la determinación y datación arqueomagnética que ubique temporalmente hacia el 986 y 1150 la dinámica de quemar el piso de una estructura que probablemente un altar relacionado con un montículo,

hallados en su primer pozo de sondeo. Ahora se puede ubicar en el Posclásico temprano la presencia de grupos poblacionales y procesos constructivos de la región de la Sierra de Manantlán intermedia entre la Costa y el Centro del estado de Jalisco. Con el seguimiento del proyecto arqueológico se podrá tener más información de estos pobladores hasta hace poco desconocidos.

- El Cerrito de los Agaves, Jalisco

Las determinaciones arqueomagnéticas y datación para los pisos quemados ubicados en el sitio El Cerrito de los Agaves muestran que el piso exterior fue expuesto al fuego entre 914 y 1028 y que el piso interior fue quemado entre 1025 y 1155. Obtener intervalos de edad consecutivos puede implicar evidencia de una dinámica cultura, pues nuestros resultados podrían indicar que el incendio o quema inició en el exterior y posteriormente alcanzó o se dirigió hacia el interior de la estructura principal del sitio. El registro de grupos humanos durante el Epiclásico es un resultado esperado y confirma las hipótesis arqueológicas, sin embargo se podría plantear nuevas hipótesis que relacionen este grupo poblacional con los de sitios cercanos o bien movilidad de dichos pobladores de la región Altos de Jalisco.

- Cueva de la Huachizca, Michoacán

La determinación de arqueointensidad fue posible en la resinera y se obtuvo la estimación de temporalidad ubicando el periodo 1921 a 1980 como el intervalo de tiempo en que la resina fue utilizada. Este resultado no era esperado ya que por las características de la cerámica se pensaba en fechas prehispánicas o cercanas al contacto hispánico. Sin embargo tras una revisión histórica amplia se encontraron registros de que en el periodo de la Guerra Cristera población indígena-mestiza utilizó la Cueva de la Huachizca como refugio, explicando así el uso del artefacto para iluminar el interior de la cueva.

Por otro lado, respecto al artefacto estudiado que sirvió como lámpara donde se depositó resina y se quemó, podría ser interesante investigar con otras técnicas arqueométricas los residuos de la resina, desde composición para saber qué tipo de árboles eran los que utilizaban para coleccionar la resina y por otro lado la edad de formación de la resina por radiocarbono. Si bien este último planteamiento no coincidiría definitivamente con la datación arqueomagnética obtenida, por el uso contemporáneo que tuvo, creemos que tampoco habría coincidencia en edades si la cerámica hubiera sido utilizada por grupos prehispánicos, debido a que la resina puede formarse muy temprano al momento en que se colecciona y utilice. Lo anterior puede considerarse un caso de no correlación entre diferentes técnicas de datación, pues cada determinación responde a una pregunta arqueométrica distinta.

Con las 12 dataciones arqueomagnéticas para los 5 sitios que este trabajo presenta nos permitimos realizar un análisis regional y esbozar algunas preguntas sobre las dinámicas culturales, de relación y movilidad de los pobladores que ocuparon estas áreas del Occidente de México:

Para el Formativo superior se registra la ocupación del sitio Lo de Juárez en el último uso de un horno, siendo el registro más temprano para el área.

Seis siglos después, hacia el Clásico superior y Posclásico temprano se documenta el uso de Fogones en el Juego de Pelota de La Quemada y el incendio de la Plaza de los Sacrificios. Posterior a este evento, en el mismo Posclásico temprano un grupo ocupa nuevamente el sitio Lo de Juárez dejando evidencia de uso de fogón y evidencia de tecnología de uso de cal.

En esta misma fase del Posclásico temprano vuelve a registrarse en La Quemada un uso del Fogón en el Juego de Pelota y posteriormente se registra el incendio en el Salón de las Columnas. Prácticamente al mismo tiempo se registra un ritual de fuego en un altar de La Palma, Sierra de Manantlán, donde hay procesos constructivos de montículos y altares por varias secciones del sitio, montículos que recuer-

dan el estilo constructivo de Tradición Teuchitlán de Jalisco y Colima. Al estar adentrados en la sierra, ¿estos grupos provenían de algún otro sitio previo? ¿Estarían ubicados tan dentro de la sierra por problemas o persecución política?

Y hacia el Posclásico tardío es probable el registro del último uso del Fogón 2 en el Juego de Pelota de La Quemada y ya no se observó incendio en los edificios élite ¿cambiaría la formación social de los nuevos ocupantes de La Quemada? ¿Es otro grupo humano que pobló el sitio ya en época del contacto hispánico, se encontrarían huyendo de la presencia humana en Mesoamérica?

¿Con análisis cerámicos se podría apreciar vínculos y relaciones entre los grupos humanos que habitaron los sitios estudiado en particular entre Lo de Juárez y El Cerrito de los Agaves?

¿Existe correlación entre futuros resultados de datación por radiocarbono y el arqueomagnetismo?

¿Qué otros estudios arqueométricos se podría utilizar en el análisis de materiales y procedencia en los diferentes proyectos arqueológicos?

¿Cuántas nuevas muestras arqueomagnéticas y de qué sitios debieran hacerse para integrar los proyectos arqueológicos del Occidente y tener estudios regionales válidos?

Con base en la discusión anterior, concluimos que el arqueomagnetismo ayuda a entender procesos de origen y abandono de sitios arqueológicos, teniendo en cuenta que se fecha un proceso relacionado con el fuego: el último uso de un horno o fogón, la manufactura o último uso de una pieza cerámica, el incendio de una estructura arquitectónica, pisos, muros. También puede fechar los procesos constructivos, ampliación o remodelación de estructuras que adquirieron su magnetización detrítica como en el caso de los estucos. La datación de estos eventos incorpora conocimiento particular de las dinámicas culturales en cada sitio, sobre rituales de origen, procesos de terminación, reocupaciones o eventos socioculturales determinantes para la historia del sitio.

Al haber vinculado los estudios arqueomagnéticos a diversos proyectos arqueológicos del Occidente fue posible realizar un análisis de la región y comprender el desarrollo de los grupos humanos que ocuparon los sitios estudiados. Esto puede enfocarse a planeación de futuros proyectos y diseño de investigaciones, para reforzar planteamientos o probar hipótesis sobre vínculos de intercambio, movimientos poblacionales que compartieron temporalidades y espacios relativamente cercanos.

Con el contexto histórico de cada sitio se observa el impacto del trabajo arqueomagnético realizado sustentado en una metodología científica establecida, probada y rigurosa que aporta nuevas características al conocimiento del campo geomagnético del pasado y deriva en dataciones arqueométricas.

El trabajo arqueométrico en la investigación científica mexicana requiere de la integración de diversas disciplinas y de la aplicación de varias técnicas geofísicas a fin de apoyar de mejor manera las interpretaciones, el análisis de regiones aisladas y dar respuesta a preguntas que surgen del nuevo conocimiento obtenido sobre los procesos y evolución de las civilizaciones prehispánicas.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Archaeological Science: Reports

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jasrep

La Quemada: Decline and abandonment in two stages on the classic period northern frontier of Mesoamerica



Verónica López-Delgado^a, Avto Goguitchaichvili^{a,*}, Carlos Torreblanca^b, Rubén Cejudo^c, Peter Jimenez^b, Juan Morales^a, Ana María Soler^a

^a National Archaeomagnetic Service, Institute of Geophysics, UNAM, Mexico

^b INAH Zacatecas, Mexico

^c Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, UNAM, Mexico

ARTICLE INFO

Keywords:
Northern Mesoamerica
Zacatecas
Archaeomagnetic dating
Absolute chronology
Cultural changes
Climate change
Migrations

ABSTRACT

An integrated magnetic survey was carried out on key places within the *La Quemada* archaeological complex, built over a hill on the northern frontier of Classic period Mesoamerica. Samples were collected from the *Plaza of Sacrifices* and *Hall of Columns* in an attempt to precisely determine the age intervals corresponding to the decline and abandonment of the site, apparently due to the intentional firing as a closure ritual. Well-defined characteristic remanent magnetizations were retrieved from 23 of 32 samples. Moreover, twelve samples belonging to two areas yielded reliable determinations under criteria curtailed in this study. In any case, a primary remanent magnetization is carried by pseudo-single-domain Ti-poor titanomagnetite, as evidenced by hysteresis and continuous thermomagnetic curves. The archaeomagnetic dating was performed using full geomagnetic vector (directions and absolute intensity) using the last SHADIF14k model. The *Plaza of Sacrifices* seems to be burned between a time interval from 854 to 968 CE, while a late interval from 1018 to 1163 CE is assigned to the samples collected in the *Hall of Columns*, which suggest the gradual abandonment of the site. The first abandonment stage is almost synchronous to the same phenomena observed for other sites at the *Bajío* area (central and western Mesoamerica) region. Under these circumstances, it cannot be discarded that *La Quemada* was burned in its entirety during the first stage of abandonment, but the Hall of Columns was again burned later.

1. Introduction

La Quemada archaeological zone is located in the central part of the State of Zacatecas (Mexico), within the municipality of Villanueva (Fig. 1). This place corresponds to the Malpaso Valley, where the Malpaso River runs south to join the Juchipila-another known with the name of La Quemada. This valley is delimited by the Sierra Palomas towards the east and the Sierra de Morones to the east; fertile lands exist in the middle irrigated by the river and several streams. The old settlement was established in a topographic elevation taking advantage of the land to build spacious edifices using large terraces.

La Quemada (Fig. 1) is one of the larger settlements in northern Mesoamerica. Describes it as a “ceremonial center made up of artificial terraces, platforms, staircases, causeways, ball courts, sunken patios, temples, and residential complexes, most of which are enclosed within a series of imposing cliffs and massive masonry walls”. The functions and relationships of La Quemada have been highly controversial and speculative. Through the twentieth century, this monumental ruin was

correlated even with the legendary Chicomóztoc, through which the Mexicas passed on their pilgrimage on the journey to *Anahuac*. Archaeologists have seen it as a Teotihuacan enclave, a Toltec empire or even a Tarascan bastion against Chichimec intrusions (Jimenez Betts, 1994, 2005; Jimenez Betts and Darling, 2000).

When the construction of the hacienda and neighboring towns began around the ruins of La Quemada (beginning of 18th century), this monumental site was used to extract stone. The evidence of dark spots on walls and floors, as well as charred wood was first observed during this time. This led to the speculation that a great fire consumed the ancient city. At present, it is considered that the city was intentionally burned as a part of a closure-ceremony ritual. However, no chronological constraints support this hypothesis. Despite the many high-quality radiometric ages available from the site, still, no absolute date is assigned to the supposed Big Fire. In the present investigation, we attempted to archaeomagnetically date the most important and apparently well-burned areas in different constructive stages of La Quemada. The analysis consisted of: a) alternating field demagnetization, b)

* Corresponding author.

E-mail address: AVTO@GEOFISICA.UNAM.MX (A. Goguitchaichvili).

<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.02.013>

Received 28 October 2018; Received in revised form 5 February 2019; Accepted 10 February 2019

Available online 20 February 2019

2352-409X/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

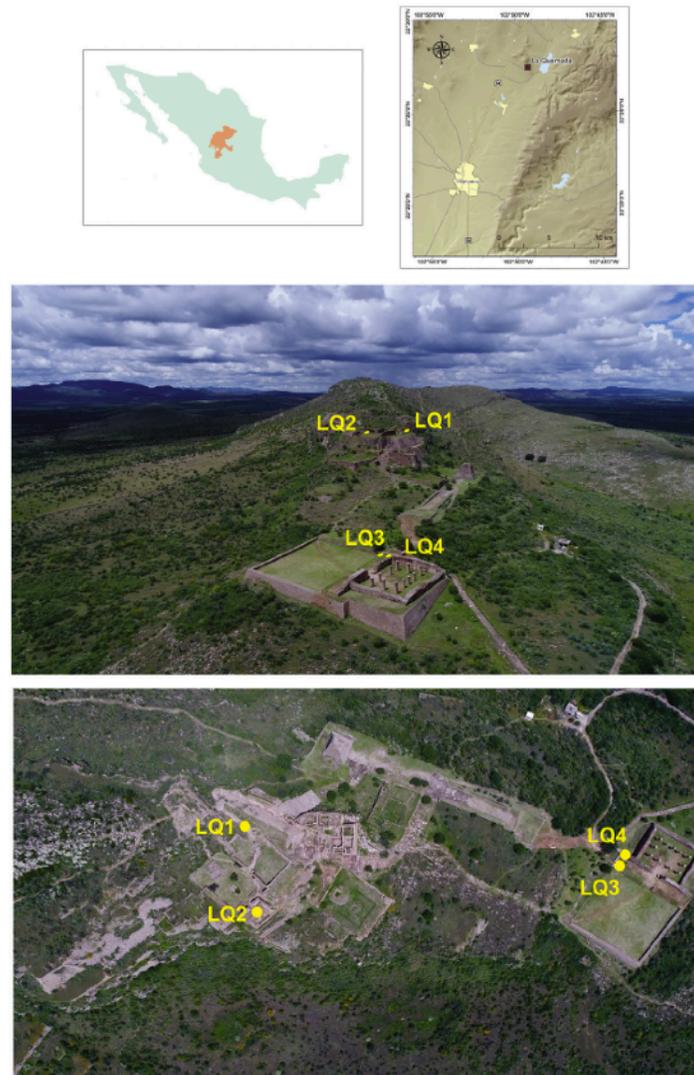


Fig. 1. Schematic locations map and general view of La Quemada archaeological complex in State of Zacatecas, Mexico showing sampled sites.

hysteresis and thermomagnetic experiments and c) absolute intensity determination.

2. Archaeological context and sample provenance

The initial phase of occupation in the Valley of Malpaso and La Quemada seems to have occurred between 400 and 600/650 CE due to the similarity in the decoration of the Canutillo pottery of the Chalchihuites Culture, for which a common origin denominated the *Canutillo-Malpaso* horizon (Jimenez Betts, 2005; Jimenez Betts and Darling, 2000). Within this area, La Quemada is the most documented and researched site of all the settlements in the Malpaso valley, pointing to the main age interval from 600/650 to 850 CE based on available radiometric dates (Nelson, 1997). There are new ceramic types that

indicate a cultural change in the region during the Epiclassic period (600–900 CE), highlighted by ceramics elaborate negative painted decoration and figurative designs defined as the Tepozán type (Jimenez Betts and Darling, 2000). Other ceramics share styles with those found northwest of La Quemada, Los Altos de Jalisco, and the Bajío regions. Likewise, intrusive polychrome ceramics (Valle San Luis) correspond to the Tunal Grande region, southeast of Zacatecas from northeastern Guanajuato and western San Luis Potosí (Jimenez Betts and Darling, 2000).

As for the settlement itself, there is ample evidence of massive constructions within the large sections of the monument that is still visible today. The architecture recalls the Mesoamerican tradition with truncated pyramidal monuments, square patios with central altars and well-developed housing areas around the larger settlement. The Hall of

Columns represents (Fig. 1) a regional architectural feature, which will later be found throughout the center and southern Mesoamerica. In the valley, there are several settlements scattered around La Quemada communicated by a network of a prehispanic road-system (Trombold, 1985). These sites had different functions, among them, to facilitate the transport of natural resources such as clay banks, wood or agricultural fields, craft workshops, sacred spaces, and possible secondary administrative sites. It has also been pointed out the possible existence of a ritual landscape where ceremonies were dedicated to the sun (Medina-González, 2000). The final 'La Ciudadela' phase is placed between 850 and 1000 CE and seems to correspond to a *crisis stage* in the valley, which caused an abandonment of the site having been burned (Jiménez Betts and Darling, 2000; Jiménez Betts, 2010).

First chronological estimations of La Quemada come from the excavations of Pedro Armillas undertaken in 1951 in *El Cuartel*, obtaining dates ranging between 775 and 1200 CE. Subsequent excavations by Armillas a decade later in *El Cuartel* produced 10 carbon samples for radiometric analysis, which provided dates that range from 1080 to 1540 CE. Based on this information, La Quemada was considered to correspond to the Postclassic period (900 to 1100 CE), founded as an intermediate point of the turquoise route that linked Chaco Canyon in the North American Southwest with Tula in central Mexico. It was not until the decades of the 80s and 90s when radiometric studies are re-taken to determine the absolute chronology of the Malpas Valley. In the case of La Quemada, Trombold (1985) obtained the first technically high-quality radiometric ages. Ben Nelson (1997) dated 39 samples, 19 from a Terrace and 20 from midden deposits within the area of the 56 terraces. Nelson argues that La Quemada was founded around 500 CE, with its peak development between 600 and 750 CE, and beginning its decline in 800 CE, and final abandonment in 900 CE. (Nelson, 1997).

The samples from this study belong to the Hall of Columns and the Plaza of the Sacrifices. The Hall of Columns (Fig. 1), one of the main buildings of the settlement due to its architectural peculiarity, is located at the southern end of the lower level of La Quemada (Figs. 1 and 2). The interior measurements of the building are 30 × 40 m, with masonry perimeter walls and columns that reach 6 m in height. The door on the west face of the building is highlighted two columns, which supported a lintel or enclosure to support the roof at the entrance. Excavations undertaken within the Hall of Columns found the building to have been totally roofed, and during its use re-floored on 4 occasions

(Jiménez Betts, 2010). Radiocarbon samples taken from three charred roof beam fragments found directly over the brick-red colored baked clay floor, produced from the smoldering collapsed roof, date to 870–990 CE (1 sigma calibrations all dates), 680–800 CE, and 670–780 CE (Jiménez Betts and Darling, 2000), marking the construction of this structure. In the present study, two samples (LQ3 and LQ4) come from the northern sector of the Hall of Columns (Fig. 2). The first one corresponds to a floor of hardened clay, which was exposed to the fire that apparently destroyed the city during its abandonment (LQ3). The second sample corresponds to a fragment of the flattened wall (LQ4) of the facade of the Hall of Columns at its northern end. The Plaza of Sacrifices is part of the third level of the settlement, that is, at the top of the hill. It consists of a large square with an altar to the center delimited by sidewalks and rooms to the east, south, and west, while to the north there is a pyramidal basement of four bodies. Both oriented samples from this area (LQ1 and LQ2) were obtained from the burned floors.

3. Laboratory techniques

Several rock-magnetic and archaeomagnetic experiments were carried out in order to determine the characteristic remanent magnetization directions, reveal the origin of the main magnetic carriers and select the most promising samples for archaeointensity measurements. These experiments consisted of systematic alternating field demagnetization of 32 specimens belonging to four sites, the measurement of saturation magnetization versus temperature (also known as continuous thermomagnetic curves) plots, hysteresis cycles and the acquisition of isothermal remanent magnetization curves using a Variable Field Translation Balance. Continuous thermomagnetic curves were obtained heating the samples in the air up to 600 °C and cooling them down to room temperature. Remanence measurements were carried out using both AGICO JR5 and JR6 spinner magnetometers while alternating field treatments were performed using a LDA-5 demagnetizer. Absolute intensity experiments were carried out using the Thellier-type double heating method (Thellier and Thellier, 1959) as modified by Coe et al. (1978). An MMTM-80 paleointensity oven was used for these experiments. The measurements were carried out in 13 temperature steps (Fig. 5) between room temperature and 560 °C. After the third heating step, control heatings (so-called pTRM-checks) were performed

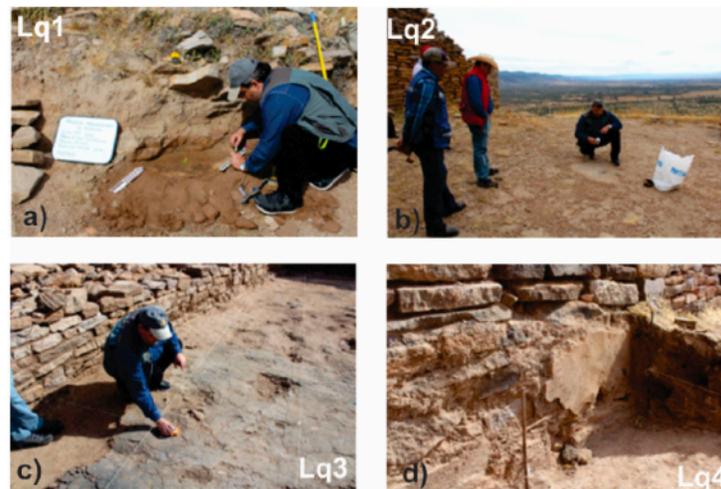


Fig. 2. The details of sampled locations: LQ1 and LQ2 sites belong to the Plaza of Sacrifices while LQ3 and LQ4 correspond to the Hall of Columns. See text for more details.

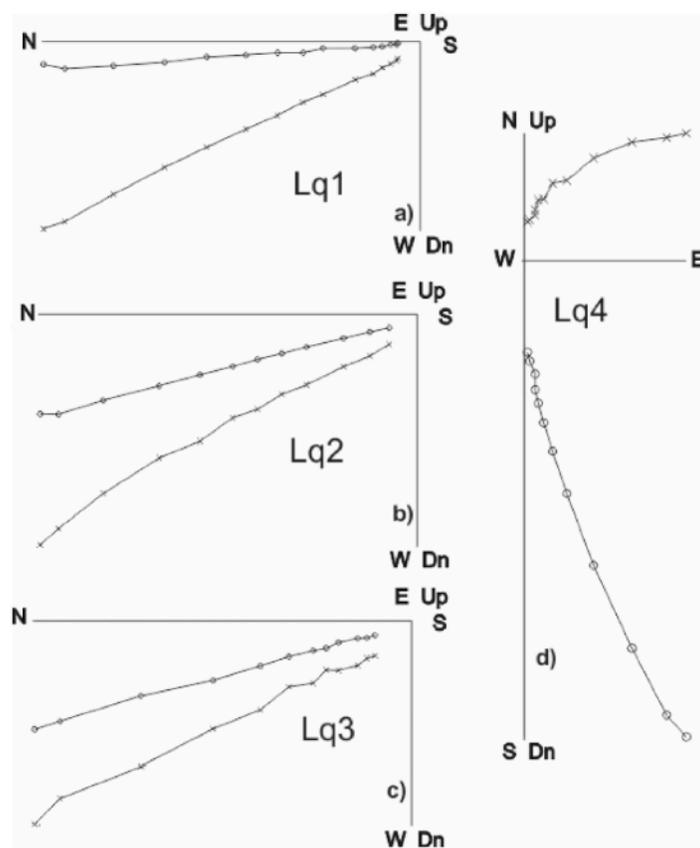


Fig. 3. Representative examples of orthogonal vector plots (also known as Zijderveld diagrams) illustrating the alternative field treatments up to 95 mT for La Quemada samples.

throughout whole experiments. The cooling rate dependence of TRM (Thermoremanent Magnetization) was investigated following a modified procedure to that described by Chauvin et al. (2000), while remanence anisotropy effect was mitigated following the procedure reported by Morales et al. (2015). During the archaeointensity experiments, hand samples under study were fragmented into 6 specimens and pressed into salt pellets to manipulate them as standard paleomagnetic samples.

4. Main results and concluding remarks

Reliable paleomagnetic directions were obtained from 23 of 32 samples. The evidence of single and magnetically stable component is revealed for all samples belonging to sites LQ1, LQ2, and LQ3 (Fig. 3a and b). No single determination was obtained from site LQ4 (8 samples) since alternating field treatments were unable to separate the primary magnetization component (Fig. 3c). These observed, apparently multiple magnetic overprints may be due to the lightning effect of local character. No primary, characteristic remanence was isolated after applying maximum available alternating field of 95 mT. The occurrence of hematite is not attested on a continuous thermomagnetic curve which clearly indicate the presence of Ti-poor titanomagnetite (very close to ferrimagnetic magnetite phase). The isothermal remanence (IRM) acquisition curve also discards the possible presence of

antiferromagnetic hematite since the saturation is reached at low to moderately applied fields. All samples belonging to site LQ4 were discarded for further paleointensity measurements.

Twelve samples belonging to LQ1 and LQ3 sites yielded reliable determinations under the following acceptance criteria: (1) Number of points on NRM decay/TRM gained diagrams exceeds 6. (2) The initial remanence fraction f (Coe et al., 1978) more than half. (3). The quality factor $q \geq 5$. (4) No concave up behavior is observed on the NRM-TRM plots. (5) No evidence of the remanent magnetization deviations towards the direction of laboratory field and (6) positive pTRM checks (within the 15% percent at the initial stage (until 400 °C) and 10% between 400 and 560 °C). Statistically, undisguisable paleodirections were obtained from sites LQ1 and LQ2 (Fig. 4). Thus, the mean directions were calculated using all samples belonging to LQ1 and LQ2 yielding $\text{Inc} = 33,67^\circ$, $\text{Dec} = 356,16^\circ$, $a95 = 2,1^\circ$, and $k = 323$. Site LQ3, based on 8 demagnetizations, yielded following mean paleodirections: $\text{Inc} = 40,59^\circ$, $\text{Dec} = 345,55^\circ$, $a95 = 3,4^\circ$ and $k = 266$. As archaeointensity determinations are concerned (Table 1 and Fig. 5), we consider them as reliable since associated thermomagnetic curve (Fig. 5) show reasonably reversible behavior pointing to Ti-poor titanomagnetite as the main magnetic carrier, while hysteresis plot and isothermal remanent magnetization curves attest the probable presence of small pseudo-single-domain ferrimagnetic minerals. Site LQ1 (square of sacrifices) provided in average an intensity of $40.6 \pm 2.6 \mu\text{T}$, while

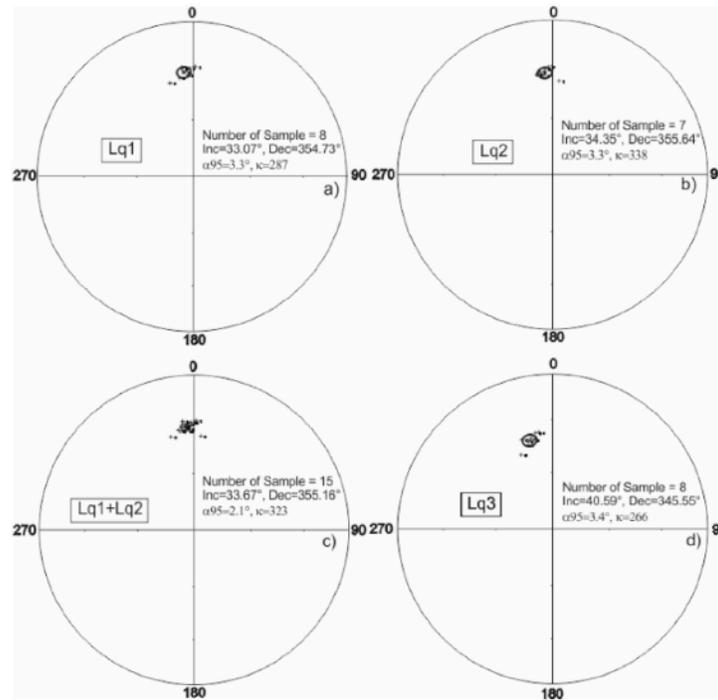


Fig. 4. Stereographic projection of site mean paleodirections together with the parameters of Fisher statistics. No paleodirections were obtained from site LQ4 (see text for more details).

Table 1

Archaeointensity results at sample level, N: the number of heating steps used; f, the fraction of NRM used for intensity determination; g: the gap factor; q: the quality factor as defined by Coe et al. (1978); H_{corr} : archeointensity value corrected for cooling rate effect.

Sample	Lab code	N	Han (μT)	$\pm \mu T$	f	g	q
LQ1							
LQ1-3A	08Q014A-1	9	42.6	2.4	0.53	0.87	5.8
LQ1-3B	08Q014A-2	7	35.8	2.1	0.49	0.85	9.3
LQ1-3C	08Q014A-3	8	38.4	1.9	0.63	0.79	11.2
LQ1-2A	08Q014A-4	8	43.3	3.3	0.54	0.78	4.8
LQ1-2B	08Q014A-5	8	47.2	3.2	0.61	0.84	6.2
LQ1-2C	08Q014A-6	7	36.4	2.7	0.58	0.82	5.2
LQ3							
LQ3-1A	08Q032A-2	14	50.8	4.2	0.61	0.80	5.6
LQ3-1A	08Q032A-3	14	66.2	5.9	0.62	0.83	7.2
LQ3-1A	08Q032A-4	14	55.3	6.1	0.58	0.77	6.8
LQ3-1A	08Q032A-5	14	65.3	7.2	0.53	0.79	9.1
LQ3-1A	08Q032A-6	14	49.2	5.2	0.47	0.85	7.0
LQ3-1A	08Q032A-7	14	52.3	4.7	0.55	0.81	5.1

LQ3 (Hall of Columns) yielded $56.5 \pm 3.9 \mu T$. Generally speaking, an archaeointensity determination is much more delicate and time-consuming than directions because only samples with some specific criteria may be selected (i.e. evidence of single and stable remanence component and reasonably reversible thermomagnetic curves) for such purpose. Thus, site LQ4 was discarded at the initial stage of experiments and site LQ2 provided low technical quality determinations (number of points on NRM decay/TRM gained diagrams were systematically < 5 . The initial remanence fraction f (Coe et al., 1978) $< 30\%$ and the quality factor $q < 5$. In addition, some of the control heatings (so-

called pTRM checks) were negative.

The archaeomagnetic dating (Figs. 6 and 7) using the last SHADIF14k model of Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) gives a time interval between 854 and 968 CE (Fig. 6) as the most probable age estimate for the uppermost sites (LQ1 and LQ2 Square of Sacrifice). It should be noted that the time interval between 722 and 820 CE cannot be completely discarded. The Hall of Columns (LQ3), considered the main ritual space in the site, yielded a time interval between 1018 and 1163 CE, which do not match with the main core of available, high-technical quality radiometric age estimations for La Quemada. These results may indicate that La Quemada was burned on two occasions or in two stages. Likewise, we cannot exclude the possibility that the general fire occurred in a number of sections of the site between 854 and 968, but the Hall of Columns was re-burned between 1018 and 1163 CE.

An important issue in understanding La Quemada resides in a better knowledge of the chronology of the site's occupation. It has generally been proposed that sometime around 300–350 CE a migration of simple village-level sedentary populations from the Bajío area (southern Guanajuato, northeastern Jalisco) appear to have arrived in the valleys of central and northern Zacatecas where they coexisted, and partially transformed, some of the seminomadic groups, in a process modeled as soft diffusion (Kelley, 1974; Jimenez Betts, 2005). This resulted in the early phase of sedentary occupation of the Malpaso valley. At present, there is a consensus among researchers that early site occupation began sometime between 400 and 500 CE, a period known as Malpaso Complex (Jimenez Betts and Darling, 2000; Jimenez Betts, 2005; Nelson, 1997). Early ceramic types show a strong similarity in black tripod vessels with geometric incised patterns to those of the Chalchihuites culture zone (Jimenez Betts, 1989; Trombold, 1985). The next phase,

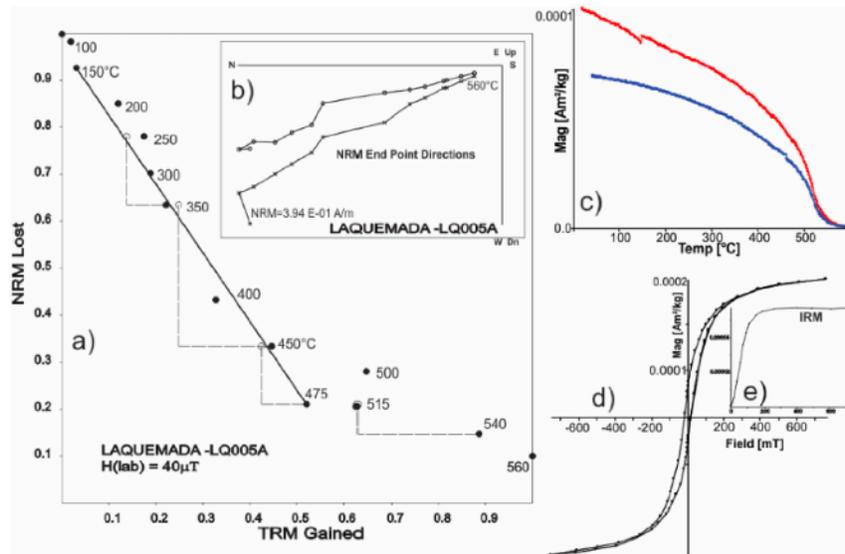


Fig. 5. Representative Natural Remanent Magnetization (NRM) – Thermomagnetic Remanent Magnetization (TRM) plots (so-called Arai-Nagata plots) and associated orthogonal vector, NRM end points demagnetization diagrams for the representative samples. Also shown is hysteresis cycle, isothermal remanence acquisition and continuous thermomagnetic curve recorded on the sister sample.

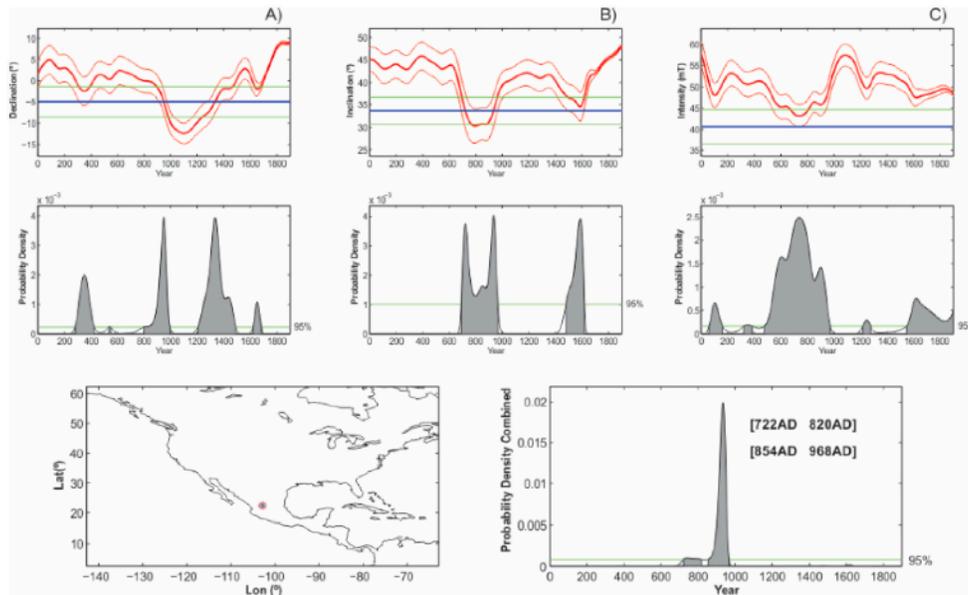


Fig. 6. Archaeomagnetic dating using a MATLAB tool provided by Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) for the Square of Sacrifices samples based on full paleomagnetic vector variation: a) Declination, b) Inclination and c) Absolute Intensity.

the 'La Quemada complex' from 600/650 and 850 CE represents the Mesoamerican Epiclassic period occupation in the site and valley and constitutes the La Quemada's apogee (Jimenez Betts, 1989; Jimenez Betts and Darling, 2000; Nelson, 1997; Trombold, 1985). Regarding the final occupation of La Quemada, there is no consensus as of yet, although a final phase, 'the Ciudadela', between 850 and 1000 CE has

been proposed from Lelgemann's work in the northernmost sector of La Quemada (Jimenez Betts and Darling, 2000).

It is currently considered that La Quemada was intentionally burned, in a ritual manner as part of some form of closing ceremonial event. Traditionally, it has also been proposed that the end of the Epiclassic period was characterized by migratory movements and

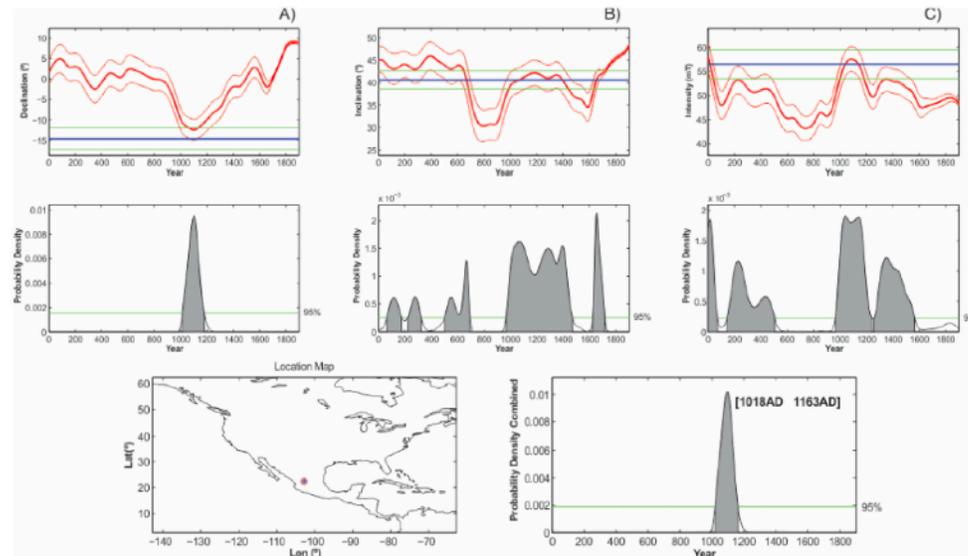


Fig. 7. Archaeomagnetic dating using a MATLAB tool provided by Pavón-Carrasco et al. (2011, 2014) for the Hall of Columns samples based on full paleomagnetic vector variation: a) Declination, b) Inclination and c) Absolute Intensity.

abandonment of the main settlements of the northern border of Mesoamerica (Davis, 1977; Jiménez Moreno, 1966; Hers, 1989; López-Austin and López-Luján, 1999), thought to have been brought on by climate change at around 1100 CE (Armillas, 1964, 1969). This hypothesis has only recently been subject to close scrutiny. Paleodimate reconstructions undertaken during the last 20 years have shown the present day semi-desert environment of the region to have been produced at the end of the 17th and early 18th centuries, in all likelihood, stemming from intensive deforestation to secure wood and carbon-coal for colonial mining activities in and around Zacatecas (Elliot et al., 2010; Somerville, 2015), while the prehispanic climate was stable for agriculture and presented little evidence of significant change. This has underscored the probability that the collapse of La Quemada, and much of the northern frontier, may have fallen as a result of sociopolitical reasons, rather than climatic change and nomadic invasions for which evidence is scarce.

A recent pan-regional study suggests La Quemada collapsed between 1000 and 1050 CE as a result of interaction network change that affected the prestige goods network that linked La Quemada to central Jalisco during the Epiclassic period. This network was interrupted by the appearance of a new network system extending across the lake basins of West Mexico that bound Tula with the Aztlan zone of the Pacific coast at 1000–1050 CE, severing the Epiclassic network system resulting in the decline and fall of La Quemada, together a number of the neighboring culture spheres of the Epiclassic northern frontier (Jiménez Betts, 2018). Patterns indicative of destructive fires related to site collapse have been verified in places such as Plazuelas, in the Guanajuato area, where evidence was found that the temples, palaces, emblems, and gods were destroyed and the city burned, being completely abandoned in 900–1000 CE (Castañeda-López and Quiroz-Rosales, 2004; Morales et al., 2015). Moreover, there is also looting of offerings and mutilation of sculptures in order to desacralize the space (Castañeda-López and Quiroz-Rosales, 2004). In the site of Barajas, near Plazuelas, a similar phenomenon is observed, where the data recovered in the excavations indicate that in the *Yacata del Ángel* the doors were carefully boarded-up; prior to this action, large sherds were placed of a crude red pot, which refers to a closing ritual (Migeon, 2003). At the El

Cerrito site in Queretaro, charred wood remains were detected from columns and roof beams (Valencia-Cruz, 2015). Sites in the Tunal Grande region also suffered extensive fires at the time of their abandonment (Torreblanca-Padilla, 2015).

Settlements within the present day state of Zacatecas have produced contexts that could be seen as evidence of ritual closure, or in one case, of possible violence. In the case of the site of Alta Vista, in northeastern Zacatecas, Kelley proposes a context of warfare, involving human sacrifice, having completely destroyed this ceremonial center, which was burned and abandoned (Kelley, 1990). Likewise, the analysis of the same contexts can be seen as having originally constituted bundled burials suspended from perimeter beams that fell onto the plaza floors from a ritual closure fire. For the Malpaso Valley, recent excavation in the entrance of the Hall of Columns of La Quemada detected numerous elaborate Tepozán negative painted vessels, placed on the floor as an apparent ritual offering of closure prior to the fire of the Hall. Inside the Hall, a large amount of human-bone remains were detected beneath collapsed roof as a result of the intense fire (Jiménez Betts, 2010; Medina-González, 2012).

Up until now, little was known concerning the events of the last stage of occupation in La Quemada, however, new data permits a set of new questions to be formulated and researched. At present, we have evidence that suggests a gradual abandonment, in which closing rituals were performed, such as the placement of offerings and intentional fires. Based on the new dates, we argue that a gradual abandonment of the city, firstly in the part of the Acropolis (Plaza of the Sacrifices) where there is also evidence of the closing of the access stairs (Jiménez Betts, 2010). Subsequently, the lower part of the settlement, the Hall of Columns is burned, in what appears to be the final closing of this monumental site.

Acknowledgments

This work was supported by CONACYT, Mexico grant n° 252149 and partly by UNAN-PAPIIT (National University of Mexico) IN101717.

References

- Amillas, P., 1964. Condiciones ambientales y movimientos de pueblos en la frontera septentrional de México, Homenaje a Fernando Márquez-Miranda. In: *Publicaciones del Seminario de Estudios Americanistas y Seminario de Antropología Americana*. Universidades de Madrid y Sevilla, Madrid, pp. 62–82.
- Amillas, P., 1969. The arid frontier of Mexican civilization. *Trans. NY Acad. Sci.* 31 (6, series 2), 694–704.
- Castañeda-López, C., Quiroz-Rosales, J., 2004. In: Cárdenas, E. (Ed.), *Plazuelas y la tradición del bajo. Tradiciones arqueológicas*. El Colegio de Michoacán, pp. 140–159.
- Chauvin, A., Caria, Y., Lanos, Ph., Laubenheimer, F., 2000. Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France. *Phys. Earth Planet. Inter.* 120, 111–136.
- Coe, R.S., Grommé, S., Mankinen, E.A., 1978. Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 83 (B4), 1740–1756.
- Davis, Nigel, 1977. *The Toltecs*. University of Oklahoma Press, Norman.
- Elliot, M., Fisher, C., Nelson, B., Molina, R., Collins, S., Pearsall, D., 2010. Climate, agriculture, and cycles of human occupation over the last 4000 yr in southern Zacatecas, Mexico. *Quat. Res.* 74 (1), 26–35.
- Hers, M.A., 1989. Los toltecas en tierras chichimecas. In: *Cuadernos de Historia del Arte* 35. IIE-UNAM (226 pp.).
- Jimenez Betts, P., 1989. Perspectivas sobre la arqueología de Zacatecas. In: *Arqueología*. vol. 5. Departamento de Monumentos Prehispánicos del INAH, México, DF, pp. 33–50.
- Jiménez Betts, P., 2010. La Quemada. Rescate y estudio de un monumento arqueológico. Instituto Zacatecano de Cultura/INAH, Zacatecas.
- Jimenez Betts, P., 2018. Orienting West Mexico. The Mesoamerican world-system 200–1200 CE. In: *Gotarc Series B. Archaeological Theses*. vol. 71 Department of Historical Studies, University of Gothenburg, Sweden.
- Jimenez Moreno, W., 1966. Mesoamerica before the Toltecs. In: Paddock, J. (Ed.), *Ancient Oaxaca*. Stanford University Press, pp. 1–82.
- Jimenez Betts, P., 1994. La Quemada, Cuna de los Toltecas. *Arqueol. Mex.* I (6), 45–47.
- Jimenez Betts, P., 2005. Avances recientes en la arqueología del Valle de Malpaso. In: Vargas-Pacheco, E. (Ed.), *IV Coloquio Pedro Bosch Gimpera. El Occidente y Centro de México*. IIA-UNAM, pp. 131–149.
- Jimenez Betts, P., Darling, J.A., 2000. Archaeology of southern Zacatecas. Greater Mesoamerica. In: Foster, M.S., Gorenstein, S. (Eds.), *The Archaeology of West and Northwest Mexico*. The University of Utah Press, pp. 155–180.
- Kelley, J.C., 1974. Speculations of the culture history of northwestern Mexico. In: Bell, Betty (Ed.), *The Archaeology of West Mexico*. Sociedad de Estudios Avanzados del Occidente, Ajijic, pp. 19–39.
- Kelley, J.C., 1990. The Early Postclassic in Northern Zacatecas and Durango IX to XII centuries. Mesoamérica y norte de México, siglos IX-XII. In: Moreno, W., Jiménez, Sodi-Miranda, F. (Eds.), *Seminario de arqueología*. INAH, pp. 487–520.
- López-Austin, A., López-Luján, L., 1999. Mito y realidad de Zuyúá. FCE, Colegio de México (168 pp.).
- Medina-González, J.H., 2000. El paisaje ritual en el Valle de Malpaso. (Tesis ENAH).
- Medina-González, J.H., 2012. La Quemada. Diálogos con el pasado. INAH, pp. 275–284.
- Migeon, G., 2003. Abandonos planificados, rituales de vasijas matadas o de clausura y ocupaciones posteriores. Los sitios del Cerro Barajas, Guanajuato y de Milpillás, en el Malpaso de Zacapu, Michoacán. In: *Tracce 43 Abandonos de asentamientos prehispánicos e hispánicos*. CEMCA, pp. 97–115.
- Morales, J., Fernández-Martínez, G., Gogichásvill, A., Cárdenas, E., Hernández-Bernal, M.S., 2015. Archeomagnetic dating of some pre-Columbian pottery fragments from northern Mesoamerica: implications for the chronology of Central Mexico during the Epiclassic period. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 4, 32–43.
- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta, J.M., 2011. A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *J. Archaeol. Sci.* 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 archaeomagnetic and lava flow data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 388, 98–109.
- Somerville, A., 2015. Leopards, Landscapes, and Social-Environmental Dynamics in Arid North America: Stable Isotope Analysis of Rabbit and Hare Bones from Modern and Archaeological Sites. Unpublished PhD dissertation, University of San Diego.**
- Thellier, E., Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.* 15, 285–376.
- Torrelblanca-Padilla, C.A., 2015. El Cóporo. Una antigua ciudad bajo la nopalea. IEC, INAH.
- Trombold, C., 1985. Conceptual innovations in settlement patter methodology on the northern Mesoamerican frontier. In: Folan, W.J. (Ed.), *Contributions to the Archaeology and Ethnohistory of Greater Mesoamerica*. Illinois University Press, Carbondale and Edwardsville, pp. 205–239 (Cap.7).
- Valencia-Cruz, D., 2015. El Cerrito, Querétaro. Asentamiento, sistemas constructivos y sala con columnas. In: Castañeda, C. (Ed.), *Relaciones interregionales en el Centro Norte de Mesoamérica*. INAH, pp. 25–36.