

Aportaciones de la datación arqueométrica a la cronología de Teotihuacan

Ana María Soler Arechalde

Instituto de Geofísica, UNAM

Laura E. Beramendi Oroscó

Instituto de Geología-LANGEM, UNAM

Galia González Hernández

Instituto de Geofísica-LANGEM, UNAM

Resumen: El grupo de datación arqueométrica del Instituto de Geofísica de la UNAM, con su trabajo decidido y la aplicación de metodologías novedosas ha incidido de forma importante en la cronología de Teotihuacan. Estos aportes, sin duda, han pasado por la iniciativa de la Dra. Linda Manzanilla, a colaborar, primeramente, con la Dra. Ana María Soler y posteriormente, con la Dra. Laura Beramendi y la M. en C. Galia González, con la puesta en marcha del Laboratorio Universitario de Radiocarbono en 2004. A partir de esta fecha comienza una verdadera articulación de los dos métodos de datación, el de arqueomagnetismo y el de radiocarbono, conjuntamente con el uso de la estadística bayesiana para la datación de los contextos arqueológicos de Teopancazco y Xalla en Teotihuacan. Este enfoque interdisciplinario ha permitido generar cronologías más precisas y robustas que las ya existentes, contribuyendo significativamente a una mejor comprensión temporal y espacial de las ocupaciones prehispánicas en la región. Es imprescindible destacar la transferencia de conocimientos obtenida en los seminarios permanentes de Teopancazco y de Xalla, desarrollados, bajo la dirección de la Dra. Manzanilla, en un ambiente interdisciplinario, con la participación de investigadores de las más diversas disciplinas. Esta formación fue vital para consolidar el grupo de datación arqueométrica y para que, actualmente, interactuemos con otros grupos de arqueólogos para la datación de otros sitios.

Palabras clave: datación arqueométrica, arqueomagnetismo, radiocarbono, estadística bayesiana, cronología, Teotihuacan, Teopancazco, Xalla, Linda Manzanilla.

Abstract: The archaeometric dating group of the Institute of Geophysics, UNAM, with its dedicated work and application of innovative methodologies, has had an important impact on the Teotihuacan chronology. These contributions were possible thanks to the initiative of Dr. Linda Manzanilla to collaborate, first with Dr. Ana María Soler and later with Dr. Laura Beramendi and M. Sc. Galia González, on the launch of the University Radiocarbon Laboratory in 2004. From this time forward, a true articulation between the two dating methods, archaeomagnetism and radiocarbon, began; these, together with the use of Bayesian statistics, were applied to the dating of the archaeological contexts of Teopancazco and Xalla in Teotihuacan. This interdisciplinary approach has made it possible to generate more precise and robust chronologies than those previously in existence, significantly contributing to a better temporal and spatial understanding of pre-Hispanic occupations in the region. It is essential to highlight the transfer of knowledge achieved in the permanent seminars focused on Teopancazco and Xalla developed under the direction of Dr. Manzanilla in an interdisciplinary environment, with the participation of researchers from the most diverse fields. This experience was vital for the consolidation of the archaeometric dating group, and for our current interaction with other groups of archaeologists for dating other sites.

Keywords: archaeomagnetic dating, archaeomagnetism, radiocarbon, Bayesian statistics, chronology, Teotihuacan, Teopancazco, Xalla, Linda Manzanilla.

La datación arqueométrica de los contextos arqueológicos permite generar cronologías más robustas y precisas que facilitan una interpretación más acertada de los eventos culturales ocurridos en el pasado. El procesamiento estadístico bayesiano de las edades obtenidas, por varios métodos de datación en diferentes materiales asociados a un mismo contexto, ha demostrado que es una metodología apropiada para establecer secuencias temporales detalladas. La aplicación de esta metodología para el contexto mesoamericano ha resultado en una mejor comprensión temporal y espacial de las ocupaciones prehispánicas.

Dos de los métodos más recurridos para la datación de los contextos arqueológicos son el arqueomagnetismo y el radiocarbono. Sin embargo, cada uno de estos métodos data eventos diferentes. El arqueomagnetismo fecha el momento de la manufactura de materiales que contienen minerales magnéticos, como las muestras no quemadas, que están asociadas

al inicio de construcción, por orientación de estos minerales durante el fraguado. Por otro lado, fecha el momento de un incendio, en el que los materiales magnéticos fueron expuestos a temperaturas elevadas; éstas son las muestras quemadas, que pueden estar indicando el final de las ocupaciones, asociadas a fuego de rituales de terminación. Por su parte, el radiocarbono (^{14}C) data el momento en que un organismo dejó de asimilar carbono, es decir, la muerte del organismo, como pueden ser las muestras de carbón provenientes de árboles u distintos restos vegetales.

Ambos métodos tienen problemas asociados, como puede ser la dificultad para encontrar las muestras adecuadas y en las cantidades y condiciones requeridas, así como errores propios de los métodos: por arqueomagnetismo se obtiene más de una edad para una muestra y por radiocarbono las edades calibradas pueden abarcar uno o más intervalos de hasta cientos de años, lo cual ocasiona que no siempre sea fácil construir cronologías con fines arqueológicos,

pues dificulta la distinción temporal entre diferentes ocupaciones o etapas de un sitio arqueológico. Esta problemática forzó a que se diseñara una metodología más confiable para abordar las dataciones de los contextos arqueológicos.

Arqueomagnetismo

El trabajo con la Dra. Manzanilla en el ámbito del arqueomagnetismo comenzó en 1999, cuando con la estudiante de arqueología, ahora doctora, Yuki Hueda, se tomaron muestras en Teotihuacan, donde ambas aprendimos la técnica que nos enseñó el Dr. Tarling de la Universidad de Plymouth.

La datación arqueomagnética consiste en la comparación del vector de magnetización del instrumento arqueológico (muros, pisos, hornos, vasijas) con las curvas de variación secular del campo magnético terrestre. El campo magnético terrestre es un vector,

por lo que se define por dos ángulos: declinación e inclinación y su intensidad. La declinación es el ángulo que forma con el norte geográfico sobre el plano horizontal y la inclinación el ángulo que forma con respecto al plano horizontal. Para el centro y sur de México existían ya datos y una curva realizada por Daniel Wolfman y publicada en su tesis doctoral y en el libro de *Archaeomagnetic Dating*; en ese trabajo se presenta el reporte de 9 muestras de Teotihuacan, una de ellas de Teopancazco de la fase Xolalpan, todas ellas con evidencias de haber estado expuestas al fuego.

El Dr. Urrutia con la Dra. Manzanilla también muestrearon, en Teopancazco, el cuarto 14 de la estructura 1, piso que de nuevo fue muestreado por Yuki Hueda. Un punto muy importante del trabajo de la Dra. Hueda fue el probar la hipótesis de que, al igual que el registro del campo magnético de la Tierra quedaba en las rocas y, en particular las rocas sedimentarias, los estucos podrían comportarse igual. Se hicieron pruebas con

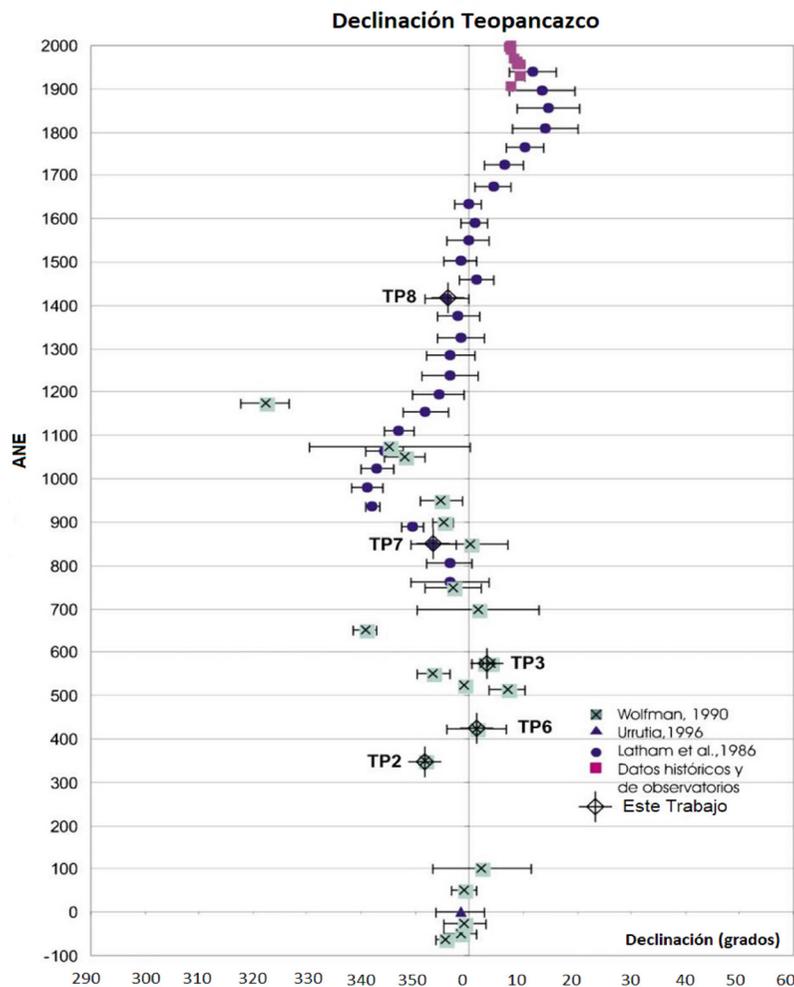
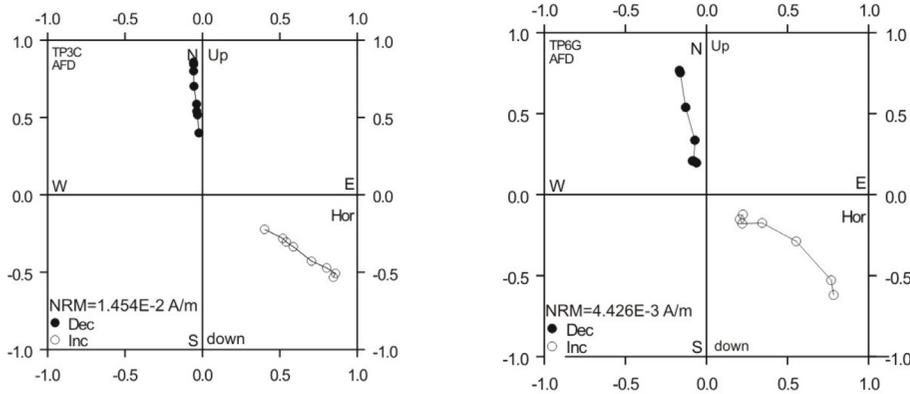


Fig. 1 Coincidencias de la Declinación con la Curva de Variación Secular (Hueda *et al.*, 2004).

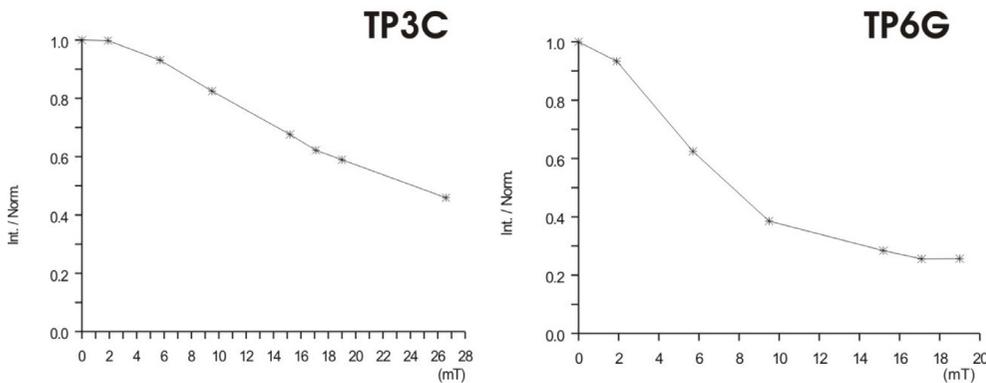
diferentes yesos y se observó que en particular los cercanos al Eje Volcánico sí seguían este comportamiento, no así los de la Zona Maya, que sí lo mostraban cuando habían sido expuestos al fuego, por lo que decidió emplear muestras expuestas y no expuestas al fuego.

Para Teopancazco, la Dra. Hueda tomó 8 muestras, 3 de ellas dieron resultados aceptables estadísticamente y 2 de ellas, a pesar de sus grandes incertidumbres, correspondían con las temporalidades esperadas. Nunca olvidaré el día que le presentamos los resultados a la

a)



b)



c)

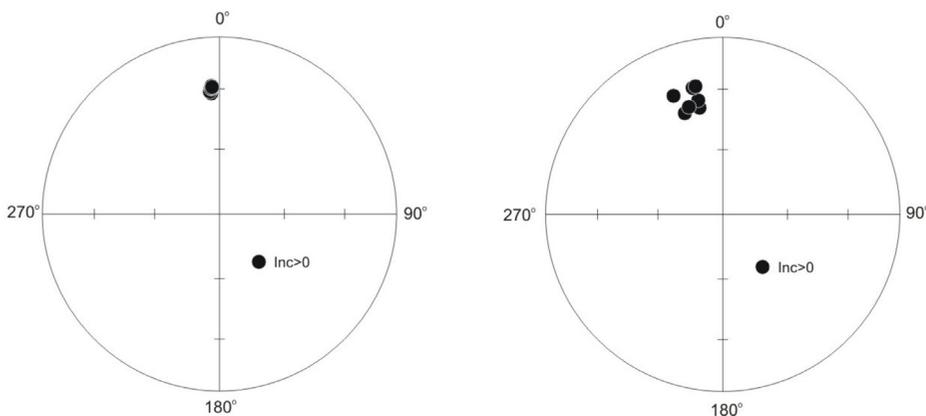


Fig. 2 Comportamiento de los especímenes TP3C y TP6G al ser desmagnetizadas mediante campos alternos (Hueda *et al.*, 2004).

Dra. Manzanilla. Se los mostrábamos y ella nos mostraba las dataciones de radiocarbono; las coincidencias eran muy buenas y nos dio una gran confianza del método. Así, la Dra. Manzanilla nos siguió invitando a otras temporadas de excavación y a participar en diferentes proyectos bajo su dirección.

En ese momento, el método empleado para encontrar las coincidencias era el de puntos de cruce, propuestos por LeGoff y colaboradores (2002) y por Noel y Batt (1990). En la figura 1 muestro los resultados que publicamos en el artículo de Hueda y colaboradores de 2004. Debo mencionar que se aplicaron varias técnicas de magnetismo de rocas para asegurarnos que la magnetización que se obtenía era confiable.

En la desmagnetización por campos alternos para limpiar la magnetización (figura 2) podemos observar buenos agrupamientos en la red y diagramas de Zijdeveld, lo que indica una dirección de la magnetización estable y tendiente al origen. También se realizaron experimentos de magnetismo de rocas para el análisis de los minerales portadores (figura 3), y muy particularmente en el caso de las muestras no quemadas se analizó su anisotropía de susceptibilidad magnética, que nos indicaba que la fábrica era de tipo sedimentario, K_1 o ejes menores bien agrupados en la vertical y medios y máximos en el plano horizontal (figura 4).

Dadas las diferencias entre las muestras no quemadas del centro de México y Yucatán, se concluyó que posiblemente el origen de la magnetización en las muestras de Teotihuacán se debía a la preparación del estuco; en el caso de dicho lugar se denota la presencia de componentes volcánicos, como el tezontle molido.

Dados los buenos resultados obtenidos para las muestras no quemadas, eso nos permitió datar un mayor número de muestras, y obtener las fechas de los períodos constructivos y no únicamente el último uso de un horno o *tlecuil*, o grandes fuegos asociados a rituales.

A continuación, presento una compilación del número de muestras tomadas por temporada, el estudiante que procesó las muestras y las tesis de licenciatura que se presentaron con estos datos (figura 5).

Desde que se trabaja de forma coordinada con el Laboratorio Universitario de Radiocarbono, hemos podido corroborar y acotar las dataciones obtenidas mediante arqueomagnetismo y radiocarbono.

Desde 2008, la curva de variación secular fue ingresada al Programa Rendate de Lannos (2004), que nos permitía, mediante estadística bayesiana, obtener los intervalos temporales de coincidencia con la curva de variación secular, primero con respecto a la inclinación y después con la declinación, así combinar ambas para tener las temporalidades.

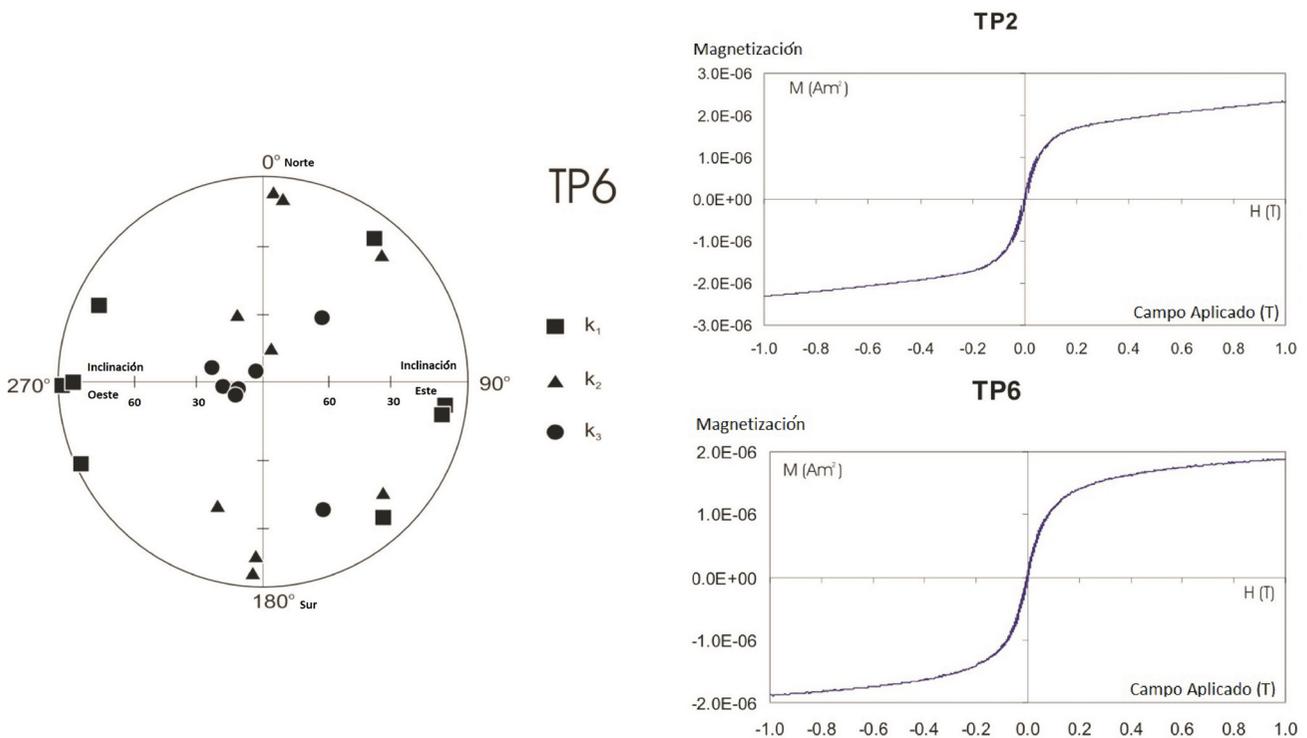


Fig. 3 Estudios de magnetismo de rocas. a) Anisotropía de Susceptibilidad Magnética de la muestra TP8. b) Ciclos de histéresis para muestras TP2 y TP6 de Teopancazco (Hueda *et al.*, 2004).

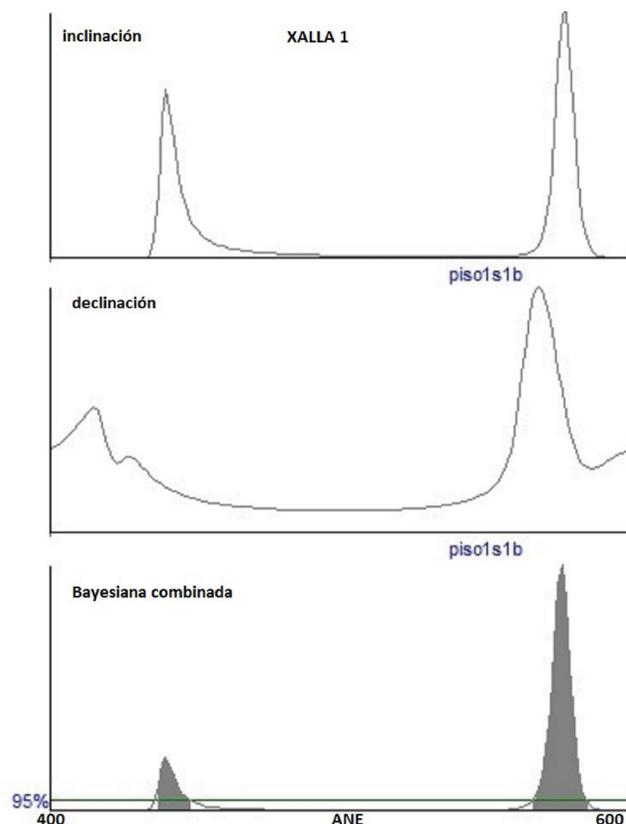


Fig. 4 Datación arqueomagnética mediante el Programa Rendate para el piso 1 de la estructura 1 de Xalla expuesto al fuego, con datación de 553 a 599 EC, indicando el Gran Incendio (Soler *et al.*, 2022).

Todos los datos obtenidos en las anteriores etapas fueron reprocesados con el Programa Rendate, lo que permitió, en muchos casos, reducir las incertidumbres. Al respecto, en la figura 6a se muestran las dataciones obtenidas.

Ahora, si observamos únicamente las muestras expuestas al fuego (figura 6b), podemos determinar ciertos agrupamientos:

- 1) Alrededor del 90-108 EC (era común).
- 2) Alrededor del 297-310 EC.
- 3) Alrededor del 330-360 EC.
- 4) Alrededor del 445 EC.
- 5) Alrededor del 465-524 EC.
- 6) Alrededor del 490 EC.
- 7) Alrededor del 575-640 EC.

Estos agrupamientos serán discutidos en el modelo bayesiano de muestras de radiocarbono.

Es notable el aumento en el número de muestras que ha efectuado el grupo de Arqueomagnetismo en Teotihuacan, gracias a los Proyectos bajo la dirección de la Dra. Manzanilla. La posibilidad de emplear los pisos no quemados hizo que se pudiera construir

una cronología más detallada del área. Y definitivamente nuestros resultados en estos proyectos nos sirvieron para que se nos abriese la colaboración con distintos proyectos arqueológicos.

Radiocarbono

Inicio de la colaboración con la Dra. Manzanilla

Nuestro acercamiento a la Dra. Linda Manzanilla inició en 2004, cuando trabajábamos en la puesta en marcha y calibración del Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR). Éste había surgido unos meses antes con la firma de las bases de colaboración entre los Institutos de Geofísica, Geología, e Investigaciones Antropológicas, con apoyo de las coordinaciones de la Investigación Científica y la de Humanidades, por lo que fue el primer laboratorio universitario en el que participaban ambos subsistemas de investigación de la UNAM. La base fundamental de infraestructura era (y sigue siendo) el Espectrómetro de Centelleo Líquido de ultra bajo nivel Quantulus 1220, que se había comprado unos años antes, cuando la Dra. Manzanilla era directora del Instituto de Investigaciones Antropológicas.

Una parte fundamental de la puesta en marcha de un laboratorio es el proceso de calibración y validación de los análisis para la obtención de resultados confiables; en este aspecto es meritorio destacar que la Dra. Manzanilla fue la primera arqueóloga que colaboró con el LUR y accedió a darnos muestras que ya habían sido fechadas por otros laboratorios, con el fin de poder evaluar los primeros resultados que se lograron obtener. Este logro analítico le permitió al LUR publicar el primer artículo con datos altamente confiables y reproducibles, validando la infraestructura analítica del laboratorio para así obtener el registro en la Lista Internacional de Laboratorios de Radiocarbono y que le fuera asignado el código UNAM a todas las edades que se obtienen en el laboratorio.

Años más adelante, en 2014, en la segunda participación del LUR en un ejercicio internacional de radiocarbono, la Sexta intercalibración internacional de Radiocarbono (SIRI por sus siglas en inglés), la Dra. Manzanilla contribuyó con la donación de una muestra de carbón, conformada por una viga carbonizada proveniente de los techos quemados y colapsados del palacio de Xalla en Teotihuacan. La preparación y homogeneización de este material para su participación como una de las 10 muestras participantes en este ejercicio internacional se llevó a cabo en el Laboratorio Universitario de Radiocarbono.

El método de datación por ^{14}C por vocación es una herramienta que se puede ocupar tanto para la datación de muestras provenientes de contextos geológicos como arqueológicos. Si bien para ambos casos es determinante comprender el contexto del cual provienen las muestras, en el caso de los materiales arqueológicos es esencial comprender la asociación de éstos con la pregunta arqueológica que se pretende contestar; por ejemplo: cuándo se fundó un sitio, la transición de una ocupación a otra o cuándo ocurrió el abandono, entre diversos eventos culturales que tuvieron lugar en el pasado.

Retos del radiocarbono en la cronología de Teotihuacan

En casi dos décadas de estrecha colaboración con la Dra. Manzanilla, se ha logrado reconocer y resolver las dificultades de la datación con ^{14}C de los diferentes sitios excavados desde la década de 1970 en Teotihuacan, relacionados tanto con la calibración de edades de radiocarbono como con problemas asociados a los contextos que incluyen la reutilización de materiales por los teotihuacanos, las re-ocupaciones

	Muestras	Etapas muestreadas	Estudiante o muestreador	Reportado en
Teopancazco 1999	5/8	Xolalpan, Gran Incendio, Reocupación Mazapa y Reocupación Azteca	Yuki Hueda	Tesis de Licenciatura ENAH Hueda, 2000 Artículos Hueda <i>et al.</i> (2004) Soler <i>et al.</i> (2019)
Xalla 2001	7/15	Gran Incendio	Dra. Soler	<i>Tesis de Licenciatura de Física</i> Rodríguez Ceja (2003) <i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2019) <i>Artículos</i> Soler <i>et al.</i> (2006) Guerrero Terán (2016) Soler <i>et al.</i> (2019)
Xalla 2003	4/9	Gran Incendio	Dr. Villalaín Dra. Soler	<i>Tesis de Licenciatura de Física</i> Sánchez López (2005) <i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2019) <i>Artículos</i> Soler <i>et al.</i> (2006) Soler <i>et al.</i> (2019)
Teopancazco 2003	3/4	Gran Incendio y Metepec	Dr. Villalaín Dra. Soler	<i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2012) <i>Artículos</i> Beramendi <i>et al.</i> (2009) Soler <i>et al.</i> (2019)
Tepancazco 2005	29/32	Tzacualli tardío, Micaotli, Fundación de Teopancazco, Transición Tlalmimilolpa-Xolalpan, Xolalpan temprano, Xolalpan tardío, Metepec	Dra. Caballero Dra. Soler	<i>Tesis de Licenciatura de Física</i> Romero (2008) Hernández (2010) <i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2012) Soler <i>et al.</i> (2019)
Teopancazco 2005	13/17	Tzacualli tardío, Micaotli, Fundación de Teopancazco, Transición Tlalmimilolpa-Xolalpan, Xolalpan temprano, Xolalpan tardío, Metepec	Dra. Manzanilla	<i>Tesis de Licenciatura de Física</i> Sánchez López (2005) Hernández (2010) <i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2012) Soler <i>et al.</i> (2019)
Xalla 2012	5/5	Gran Incendio	Guerrero-Terán	<i>Tesis de maestría</i> Guerrero Terán (2013) <i>Capítulo de libro</i> Beramendi <i>et al.</i> (2019) <i>Artículos</i> Guerrero Terán (2016) Soler <i>et al.</i> (2019)

Fig. 5. Compilación de muestras tomadas por temporadas (Soler *et al.*, 2022).

por grupos post-teotihuacanos y los saqueos en diferentes momentos. Específicamente, en relación con los problemas de la calibración de edades de ^{14}C , la temporalidad en la que se desarrollaron las diferentes etapas de Teotihuacán se da en un periodo complicado de la curva de calibración en el que coinciden mesetas con momentos clave en el valle (figura 7). Durante el Formativo se tiene una meseta en el periodo 350-200 antes de la Era Común (AEC), que coincide con las primeras ocupaciones en Cuanalan; durante el Clásico se tienen otras dos mesetas, la primera durante el periodo 130-220 de la Era Común (EC), que coincide con la expansión urbana, y una más entre 420-540 EC que coincide con la renovación constructiva y es muy cercana a los últimos años de ocupación teotihuacana.

Para el periodo Posclásico, hay dos momentos difíciles de la curva de calibración, el primero entre 700 y 870 EC y el segundo entre 1080 y 1150 EC, ambos coincidiendo con las ocupaciones pos-teotihuacanas. El efecto de estas mesetas de la curva sobre los resultados de las calibraciones, es que los intervalos calibrados pueden llegar a abarcar cientos de años, haciendo difícil la interpretación cronológica, incluso imposibilitando distinguir eventos de diferentes ocupaciones. Por otro lado, el hecho de que algunos materiales constructivos, como vigas y pilastras, hayan sido reutilizados en diferentes etapas constructivas, resulta en que las edades de ^{14}C para esas muestras sean muy tempranas y no estén relacionadas temporalmente con el contexto en el que fueron encontradas.

Resulta entonces importante construir las cronologías con un enfoque integral, generando modelos para calibrar las edades de ^{14}C de manera conjunta con la información arqueológica del contexto del que proviene cada muestra y, en la medida de lo posible, integrando edades por otros métodos de datación, utilizando la estadística Bayesiana.

Seminario de Teopancazco y primeras cronologías de alta resolución

Desde la creación y puesta en marcha del LUR, las académicas que lo conformamos hemos participado en el Seminario Permanente de Teopancazco coordinado por la Dra. Manzanilla. Este evento fue crucial para familiarizarnos con la terminología y las metodologías con las que se abordan las excavaciones arqueológicas. En particular, el carácter inter y multidisciplinario de este evento nos dotó de una serie de herramientas y de un lenguaje apropiado, que nos permitió adentrarnos en los estudios arqueológicos, como especialistas, en la generación de cronologías de los eventos culturales ocurridos en el pasado de los sitios arqueológicos.

En este sentido, el primer producto del trabajo colaborativo con la Dra. Manzanilla para la comprensión temporal en Teopancazco se publicó en 2009, en la revista *Quaternary Research*. Dicho estudio aporta la primera cronología de alta resolución para un sitio arqueológico mexicano, empleando estadística bayesiana para calibrar 33 edades de radiocarbono, integrando

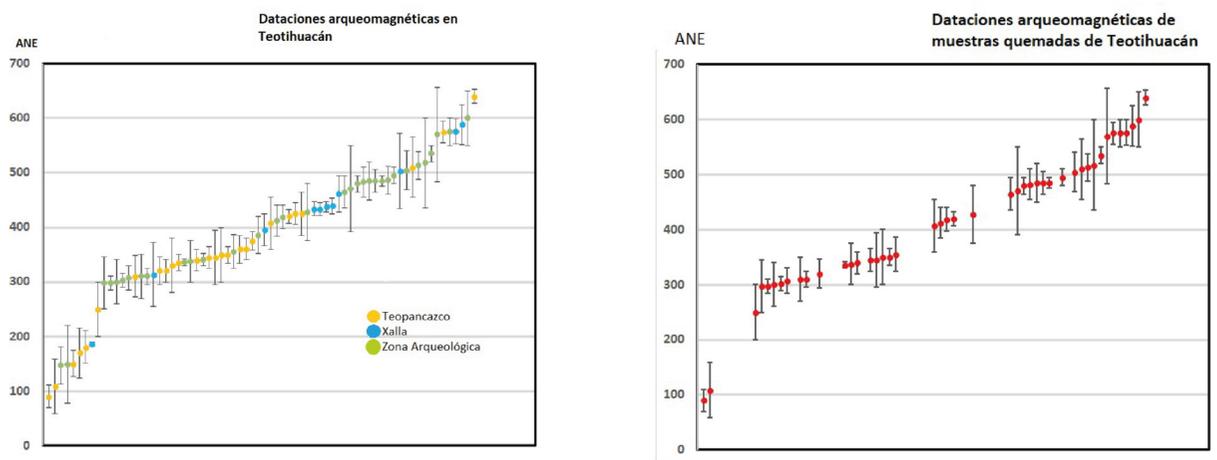


Fig. 6 Dataciones obtenidas mediante arqueomagnetismo en Teopancazco (triángulos verdes), Zona Arqueológica central (cuadros Azules) y Xalla (triángulos naranjas). a) Para todas las muestras y b) sólo para las muestras expuestas al fuego (Soler, et al., 2022).

la información arqueológica detallada de cada contexto, y contrastando los resultados con edades obtenidas por arqueomagnetismo, en muestras de estucos quemados y no quemados. Esta cronología permite distinguir las diferentes ocupaciones y ubica al Gran Incendio hacia el 550 EC, aproximadamente 100 años antes de lo aceptado hasta ese momento para el colapso de Teotihuacan. Posteriormente, en 2012 se publicó el capítulo de la cronología en el libro *Estudios arqueométricos del centro de barrio de Teopancazco en Teotihuacan*, en el que se incluyeron más edades de arqueomagnetismo y se hizo una comparación de las edades por los dos métodos de datación para cada uno de los contextos o áreas de actividad, para los que se tenían datos cronométricos, generando una cronología más detallada para el sitio, que permitió a los demás especialistas del seminario de Teopancazco ubicar temporalmente los materiales estudiados (figura 8).

Para estos dos estudios fue fundamental la buena comunicación entre las especialistas en cada uno de los métodos de datación y los arqueólogos liderados por la Dra. Manzanilla, tanto para poder construir un modelo bayesiano como para poder identificar qué evento nos estaba datando cada una de las muestras, logrando de esta manera interpretar los resultados.

En el caso del arqueomagnetismo, los estucos no quemados nos proporcionan información sobre el momento de manufactura o construcción de un piso o un muro; mientras que los quemados nos suministran el momento en que fueron expuestos al fuego, que dependiendo del contexto pueden corresponder a momentos rituales de fundación o terminación de una etapa, o incluso al Gran Incendio de Teotihuacan. Mientras que el radiocarbono nos datará el momento en que murió el organismo del

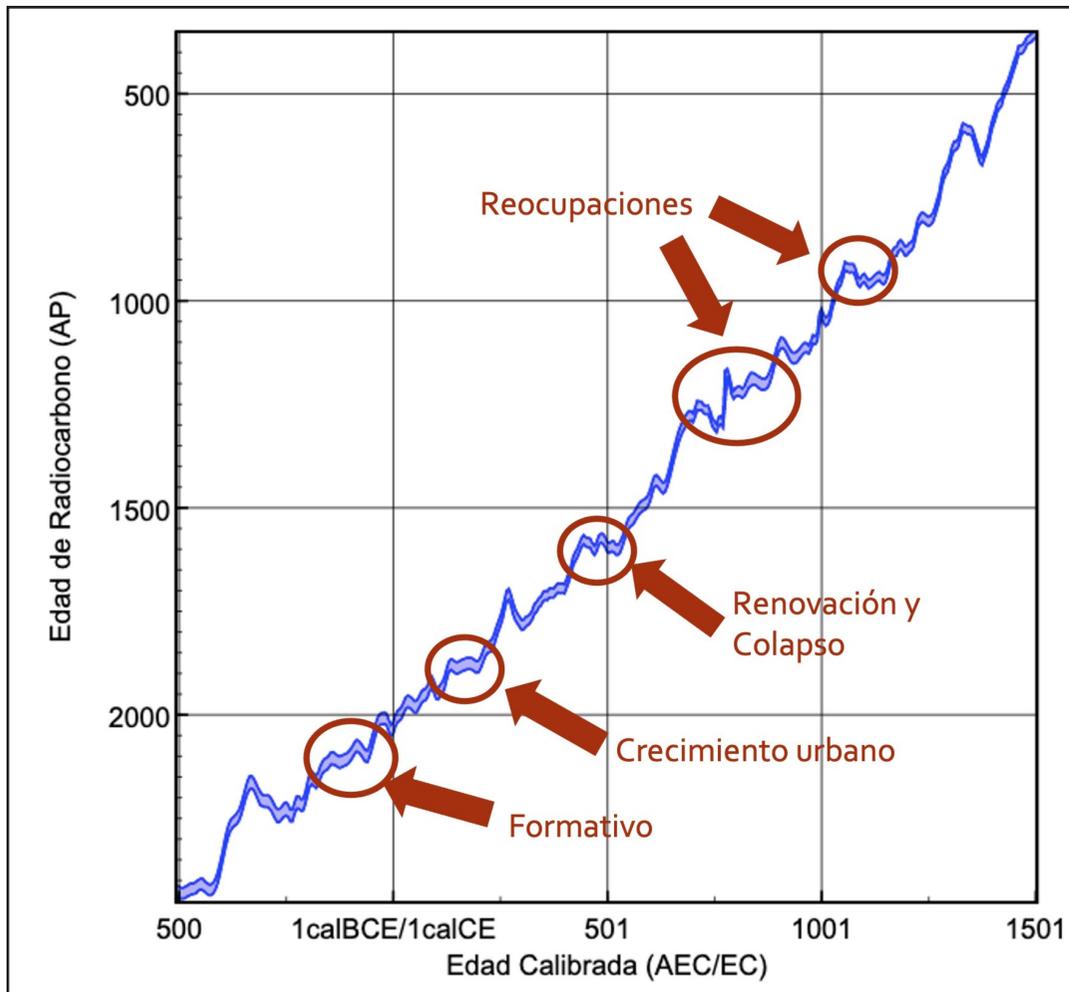


Fig. 7 Fragmento de la curva de calibración IntCal_20 (Reimer *et al.*, 2020) indicando las mesetas que coinciden con momentos clave en el Valle de Teotihuacan. Curva tomada del programa OxCal v. 4.4.0 (Bronk, 2009).

que proviene la muestra analizada, que en el caso de las excavaciones realizadas por la Dra. Manzanilla son muestras de carbón, tanto de fogones como de elementos constructivos.

Integración de dos métodos de datación. Cronología para Xalla

Esta experiencia positiva con la cronología de Teopancazco nos permitió continuar la colaboración para abordar el siguiente reto de trabajar la cronología para el palacio de Xalla, ya con más experiencia y hablando un lenguaje común, a pesar de nuestras diferentes formaciones de origen. Para comprender el contexto y entender las diferencias estructurales entre Xalla y Teopancazco, fue importante participar desde el inicio en las sesiones del seminario de Xalla. Esto nos permitió proponer un modelo bayesiano, agrupando esta vez las edades de acuerdo al tipo de muestra y así poder interpretar qué evento estaría fechando cada una a pesar de estar en el mismo contexto.

En el caso de las edades de radiocarbono se identificó que habían muestras de elementos constructivos grandes provenientes de las vigas de los techos colapsados, que podrían tener asociado el problema de la reutilización de materiales constructivos; otro

grupo de muestras provenía, también, de elementos constructivos, pero eran restos de pequeños troncos correspondientes a los morillos de la techumbre colapsada y era menos probable que presentaran el problema de la reutilización de materiales; finalmente, se contaba con muestras de carbón provenientes de contextos rituales. A su vez, los datos de arqueomagnetismo provenían de muestras de estuco, quemados y no quemados, de los recubrimientos de los techos, de algunos pisos y muros. En el caso de las muestras no quemadas, estarían arrojando información del momento de manufactura y construcción de las diferentes etapas constructivas; mientras que, en el caso de las muestras quemadas, estarían arrojando información sobre el momento en que el estuco estuvo expuesto al fuego, ya fuera en rituales o durante el Gran Incendio del colapso teotihuacano.

El trabajo para construir la cronología bayesiana de Xalla fue un proceso en el cual se generaron dos publicaciones, que si bien son modelos ligeramente diferentes, los resultados son muy similares, demostrando que la cronología es robusta. El primero que se publicó para la cronología de Xalla fue el capítulo 5 “Ubicando a Xalla en el tiempo. Cronología de ¹⁴C y arqueomagnetismo” del libro *El palacio de Xalla en Teotihuacan. Primer acercamiento*, editado por Linda

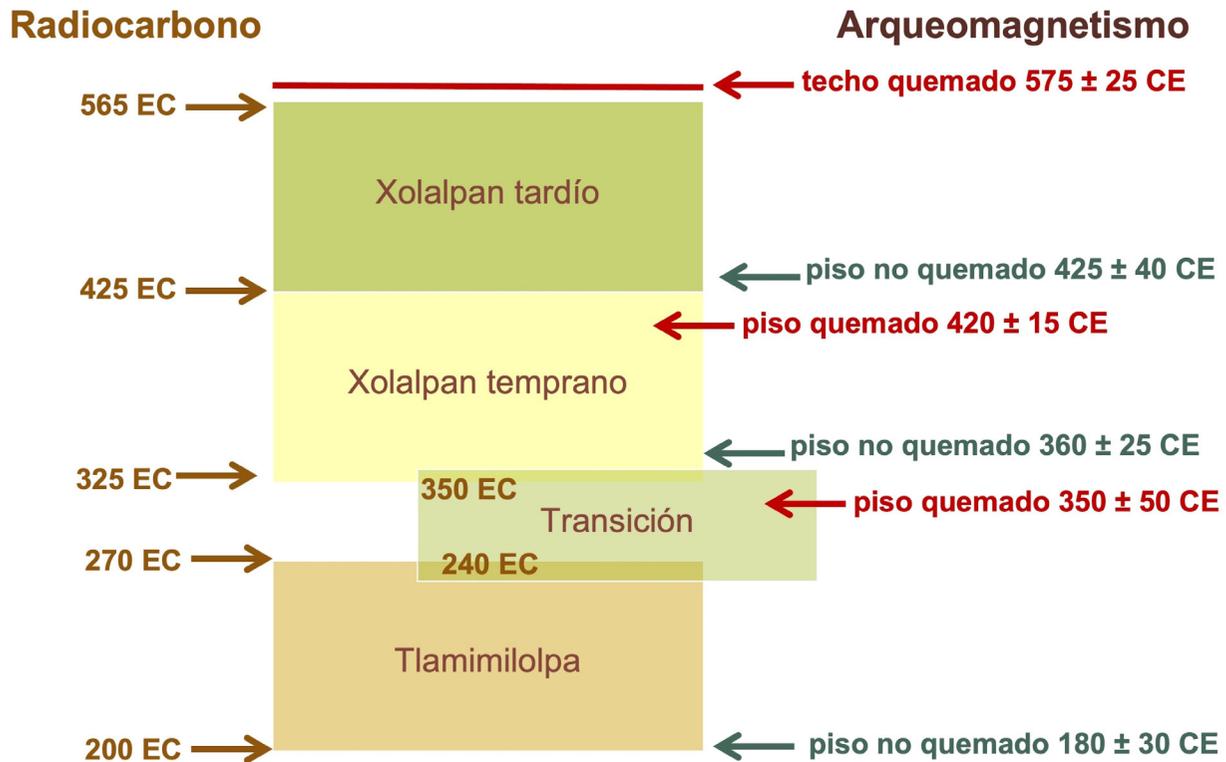


Fig. 8. Esquema de la comparación entre la cronología para Teopancazco y las edades arqueomagnéticas (Beramendi et al., 2012).

Manzanilla y publicado en 2019. En este modelo se integraron las 42 edades de ^{14}C en 6 grupos independientes de acuerdo al tipo de muestra y contexto, con la particularidad de que los grupos pueden coincidir temporalmente. En este primer modelo, la única edad de arqueomagnetismo que se incluyó fue la correspondiente al Gran Incendio, fechada en Xalla hacia $575 \pm 25 \text{ EC}$. El resto de las edades arqueomagnéticas no fue incluida en este primer modelo bayesiano; sin embargo, se utilizaron para interpretar y evaluar los resultados de la calibración de las edades de ^{14}C .

Posteriormente, se decidió explorar el efecto de integrar las edades de arqueomagnetismo a la calibración del modelo bayesiano, de tal manera que ahora no sólo se hacía una comparación entre las edades de ambos métodos, sino que se integrarían como información a priori al modelo bayesiano. El resultado de este experimento fue que dos de los grupos quedaron más acotados, con la ofrenda de fundación de Xalla fechada

entre 175-195 EC y el inicio de los rituales Xolalpan, coincidiendo con las edades de las nuevas vigas, hacia el 355 EC. Este modelo se publicó en 2021 como artículo en la revista *Radiocarbon* (figura 9).

Uno de los aspectos interesantes de ambas cronologías para Xalla fue la posibilidad de distinguir la temporalidad de diferentes eventos, en un mismo contexto, como resultado de entender qué data cada muestra. Además, fue posible demostrar que las muestras que registraban edades muy tempranas confirmaban la práctica de reutilizar grandes elementos constructivos en etapas posteriores. Finalmente, la concordancia de la cronología de Xalla con la cronología de Teopancazco, con ambos sitios iniciando hacia el 180 EC, los contextos del periodo Tlamimilolpa comienzan hacia el 200 EC y concluyen alrededor de 340 EC, el inicio de una nueva etapa constructiva hacia el 350 EC, representado en Xalla con nuevas vigas en los techos, datadas con ^{14}C , y un piso no quemado, fechado con arqueomagnetismo.

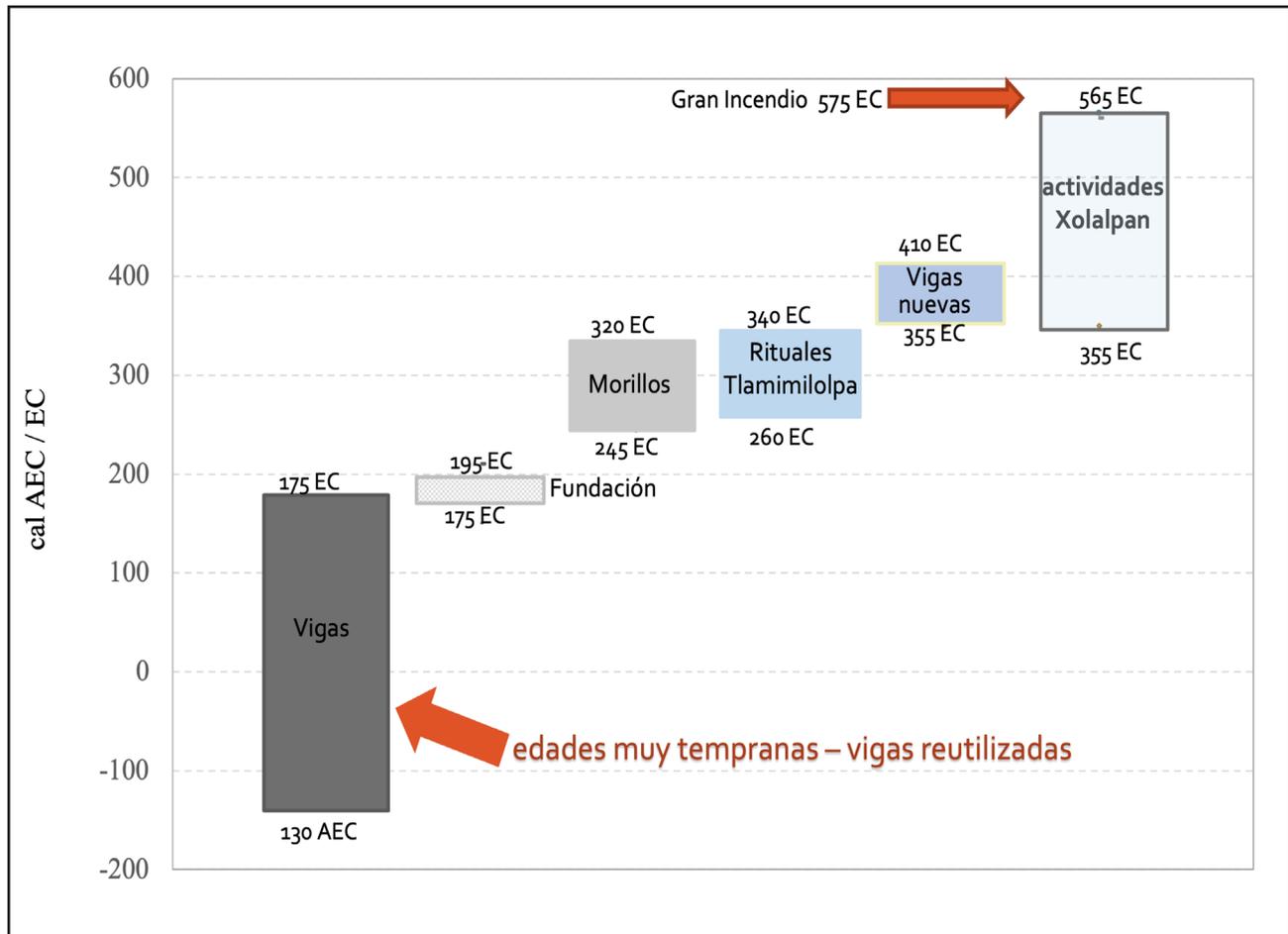


Fig. 9 Esquema de la cronología para Xalla integrando ambos métodos de datación (Beramendi *et al.*, 2021).

Del Preclásico al Posclásico en Teotihuacan. Construyendo una cronología integrada

Como ya mencionamos, la Dra. Manzanilla había excavado diversos sitios dentro del Valle de Teotihuacan desde la década de 1970, incluyendo la aldea del formativo Cuanalan y los túneles al este de la Pirámide del Sol, por lo que se contaba con datos de 110 edades de radiocarbono obtenidas en diferentes laboratorios a lo largo de varias décadas y calibradas con diferentes curvas de calibración. Esto dificultaba la construcción de una cronología que permitiese distinguir las diferentes etapas de ocupación, tanto por los teotihuacanos como por las culturas posteriores que ocuparon el sitio después del colapso. Sin embargo, se contaba con todo el banco de información de los contextos de los que provenían las muestras, así que se consideró que sería factible trabajar en una cronología que integrara todos los datos y edades de radiocarbono, incluyendo las cronologías ya propuestas para Xalla y Teopancazco, y contribuir a un mejor entendimiento de las ocupaciones del valle desde el Preclásico hasta el Posclásico. Una particularidad de los datos cronométricos para estos sitios es que, en lugar de tener edades arqueomagnéticas, se cuenta con edades de hidratación de obsidiana, que si bien

es un método controvertido y que ha caído en desuso, vale la pena contrastar los estimados de edad con los resultados de la calibración bayesiana.

Nuevamente, este reto fue posible por la buena comunicación entre las partes y la información tan detallada recopilada durante las excavaciones lideradas por la Dra. Manzanilla. Este trabajo todavía no ha sido publicado de manera formal, pero ya ha sido presentado en ponencias y consideramos que ayuda a entender mejor el poblamiento, la expansión, el colapso y la reocupación del valle de Teotihuacan (figura 10).

Conclusiones. El grupo de datación arqueométrica, fruto de la interdisciplina

A partir de la creación y puesta en marcha del LUR se dio inicio a una estrecha y fructífera colaboración con la Dra. Linda Rosa Manzanilla Naim, que si bien ya existían colaboraciones previas entre ella y la Dra. Ana María Soler Arechalde, fue hasta 2004 que comienza a conformarse el grupo de datación arqueométrica, combinando los métodos de radiocarbono y arqueomagnetismo a través del uso de la estadística bayesiana.

La oportunidad única que nos brindó la Dra. Manzanilla de colaborar en sus proyectos de investigación en Teotihuacan, fue fundamental para que el grupo de datación arqueométrica lograra consolidarse y fuera

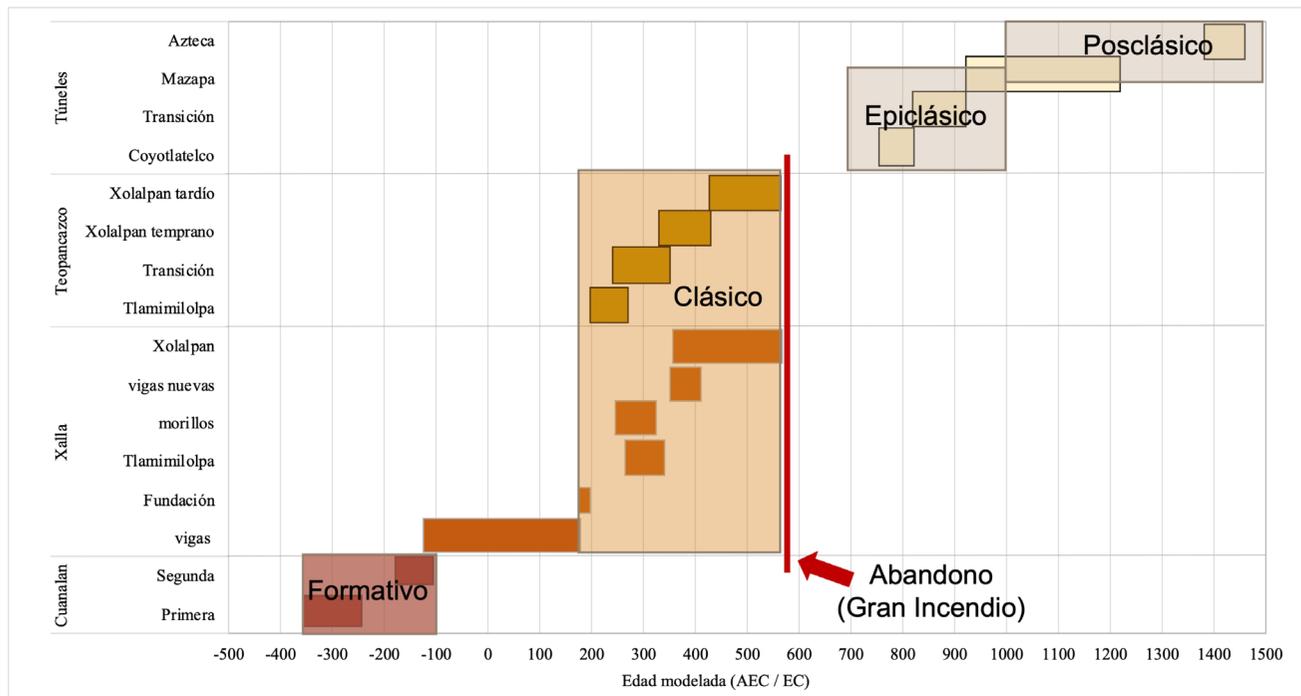


Fig. 10 Esquema de la cronología integrada para los sitios excavados por la Dra. Manzanilla en el valle de Teotihuacan (Soler et al., 2022).

el catalizador para comenzar a colaborar con distintos arqueólogos, aplicando este enfoque interdisciplinario en distintos sitios arqueológicos.

Este grupo de datación arqueométrica es un equipo dinámico que, a lo largo de los años, ha logrado desarrollar y validar varias metodologías, que van desde estrategias de muestreos hasta el uso de estadística bayesiana, para generar cronologías más precisas y robustas que las ya existentes, contribuyendo significativamente a una mejor comprensión temporal y espacial de las ocupaciones prehispánicas en diferentes regiones de México y de Latinoamérica.

La experiencia adquirida por nuestro grupo es transmitida constantemente a estudiantes e investigadores a través de diversas actividades docentes, de difusión y divulgación. Consideramos una meta permanente la transferencia del conocimiento obtenido de las valiosas colaboraciones en los proyectos arqueológicos dirigidos por la Dra. Manzanilla.

Bibliografía

- Beramendi-Orosco, L.E., González-Hernández, G., Soler-Arechalde, A.M. y Manzanilla, L.R.**
2021 A High-resolution Chronology for the Palatial Complex of Xalla in Teotihuacan, Mexico, Combining Radiocarbon Ages and Archaeomagnetic Dates in a Bayesian Model. *Radiocarbon*, 63 (4): 1073-1084.
- 2019 Ubicando a Xalla en el tiempo. Cronología de 14C y arqueomagnetismo. En L. Manzanilla (ed.), *El Palacio de Xalla en Teotihuacan. Primer acercamiento* (599 pp.). México. DGAPA-IIA-UNAM.
- Beramendi-Orosco, L.E., González Hernández, G., Urrutia-Fucugauchi, J., Manzanilla, L.R., Soler-Arechalde, A.M., Goguitchaishvili, A. y Jarboe N.**
2009 High-resolution Chronology for the Mesoamerican Urban Centre of Teotihuacan Derived from Bayesian Statistics of Radiocarbon and Archaeological Data. *Quaternary Research*, 71: 99-107.
- Beramendi Orosco, L.E., González Hernández, G. y Soler Arechalde, A.M.**
2012 Cronología para Teopancazco: integración de datos arqueomagnéticos y un modelo bayesiano de radiocarbono. En Linda R. Manzanilla (ed.), *Estudios arqueométricos del centro de barrio de Teopancazco en Teotihuacán* (pp. 111-134). México. Coordinación de Investigación Científica / Coordinación de Humanidades / UNAM.
- Bronk Ramsey, C.**
2009 Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, 51 (1): 337-360.
- Guerrero Terán, A.G.**
2013 *Estudios arqueomagnéticos en la Ciudadela, Sierra de las Navajas y Xalasco, cultura teotihuacana* (Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra). Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, México.
- Guerrero Terán, A.G., Soler Arechalde, A.M., Goguitchaichvili, A., Caballero-Miranda, C., Morales, J. y Urrutia-Fucugauchi, J.**
2016 Dataciones arqueomagnéticas en la Ciudadela de Teotihuacán, Sierra de las Navajas y Xalasco. *Arqueología Iberoamericana*, 29: 15-20. Recuperado de: <<http://www.laiesken.net/arqueologia/archivo/2016/29/3>>.
- Hernández Ávila, E.R.**
2010 *Control cronométrico basado en arqueomagnetismo de Teopancazco, Estado de México* (Tesis de Licenciatura en Física). Facultad de Ciencias- UNAM, México.
- Hueda Y., Soler-Arechalde A.M., Urrutia-Fucugauchi J., Barba L., Manzanilla L., Rebolledo M., Goguitchaishvili A.**
2004 Archeomagnetic studies in central México – dating of Mesoamerican lime-plasters. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 147, 269-283.
- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., Van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., y Talamo, S.**
2020 The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 Cal KBP). *Radiocarbon*, 62 (4): 725-757.
- Rodríguez Ceja, M.**
2003 *Análisis y fechamiento arqueomagnético de estucos de zonas habitacionales de Teotihuacan (Xalla) y Templo Mayor* (Tesis de Licenciatura de Física). Facultad de Ciencias-UNAM, México.
- Romero-Hernández, E.**
2008 *Fechamientos arqueomagnéticos de pisos con control estratigráfico de la excavación Teopancazco 2005, Teotihuacan* (Tesis de Licenciatura en Física). Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Sánchez F.

2005 *Nuevos fechamientos arqueomagnéticos en Xalla y Teopanazco, zonas habitacionales de Teotihuacán* (Tesis de Licenciatura en Física). Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Soler Arechalde, A.M., Beramendi Orosco, L.E. y González Hernández, G.

2022 Ponencia "Aportaciones de la datación arqueométrica a la cronología de Teotihuacán". En Coloquio "Homenaje a la doctora Linda Manzanilla. La arqueología como ciencia: formación y enseñanza con una mirada interdisciplinaria", del 2 al 5 de agosto de 2022. Museo del Templo Mayor, México.

Soler-Arechalde, A.M., Caballero-Miranda, C., Osete-López, M.L., López-Delgado, V., Goguitchaichvili, A., Barrera-Huerta, A. y Urrutia-Fucugauchi, J.

2019 An Updated Catalog of Pre-Hispanic Archaeomagnetic Data for North and Central Mesoamerica: Implications for the Regional Paleosecular Variation Reference Curve. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71 (2): 497-518. Recuperado de: <<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n2a1>>.