

arqueología mexicana^{M.R.}

**La fluorescencia de rayos X
portátil para el análisis de
procedencia de la obsidiana**

EL CASO DEL TEMPLO MAYOR DE TENOCHTITLAN

Diego Matadamas Gomora, Jason Nesbitt, Rodolfo Aguilar Tapia, Leonardo López Luján,
Julia Sjö Dahl, Tatsuya Murakami y Alejandro Pastrana

Artículo aparecido en: *Arqueología Mexicana*.
La obsidiana en Mesoamérica, núm. 198,
mayo-junio de 2026, pp. 70-75.

PARA ADQUIRIR LA EDICIÓN
COMPLETA, IMPRESA O DIGITAL,
HAZ CLICK EN EL SIGUIENTE ENLACE:
[https://tiendadigitales.raices.com.mx/library/
publication/198-arqueologia-mexicana](https://tiendadigitales.raices.com.mx/library/publication/198-arqueologia-mexicana)





REVISTA BIMESTRAL
Mayo-junio de 2026
Vol. XXXIII, núm. 198
Cuchillo de obsidiana.
Museo del Templo Mayor.
Foto: Oliver Santana / Raíces

LA OBSIDIANA EN MESOAMÉRICA



16 LA OBSIDIANA

18 LA OBSIDIANA EN MESOAMÉRICA. PROCEDENCIA, CIRCULACIÓN Y TECNOLOGÍA

Emiliano Ricardo Melgar Tísoc

La obsidiana fue uno de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo mesoamericano por su gran versatilidad.

26 LA DISTRIBUCIÓN DE LA OBSIDIANA EN EL CENTRO DE MESOAMÉRICA

Alejandro Pastrana

Los procesos sociales relacionados con la explotación, talla y distribución del instrumental de obsidiana en el Posclásico Tardío alcanzaron prácticamente todos los ámbitos de las sociedades prehispánicas.

36 LA OBSIDIANA Y LOS SISTEMAS DE INTERCAMBIO EN EL MÉXICO ANTIGUO

Guillermo Acosta Ochoa

El aumento en el uso de obsidiana, tanto en la Cuenca de México como en la costa de Chiapas, sugiere que ya se habían establecido redes de intercambio a larga distancia.

42 REFLEJOS DEL PASADO. ANÁLISIS DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS DE OBSIDIANA POR MEDIO DE REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING

Edgar Israel Mendoza Cruz, Mauricio Jesus Salazar Segura, Salvador López Cisneros

En el pasado, la obsidiana fue transformada de diversas formas para realizar herramientas, armas o joyería.

48 LOS TALLERES DE OBSIDIANA EN TZINTZUNTZAN

José Luis Punzo Díaz

La obsidiana entre los habitantes de la antigua ciudad prehispánica de Tzintzuntzan fue un bien estratégico tanto económica como simbólicamente.

54 COMER, PRODUCIR, RITUALIZAR. EL USO DE LA OBSIDIANA EN EL ÁREA MAYA

Naya Cadalen

Aunque durante mucho tiempo se asociaron con el sacrificio y la caza, las herramientas de obsidiana muestran un papel mucho más amplio; estuvieron presentes en la vida cotidiana, en la producción de objetos de poder y en diversas prácticas rituales.

62 LA JOYERÍA EN OBSIDIANA DE LA CUENCA DE MÉXICO. LAS ESCUELAS ARTESANALES Y EL ESTILO IMPERIAL TENOCHCA

Reyna Beatriz Solís Ciriaco, Emiliano Ricardo Melgar Tísoc, Gabriela Inés Mejía Appel

El estudio de la producción de bienes de prestigio en obsidiana de la Cuenca de México del Posclásico Tardío (1200-1521 d.C.) se ha enriquecido con el análisis de las evidencias de producción de joyería en este vidrio volcánico en distintos talleres de Xochimilco.

70 LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X PORTÁTIL PARA EL ANÁLISIS DE PROCEDENCIA DE LA OBSIDIANA. EL CASO DEL TEMPLO MAYOR DE TENOCHTITLAN

Diego Matadamas Gomora, Jason Nesbitt, Rodolfo Aguilar Tapia, Leonardo López Luján, Julia Sjö Dahl, Tatsuya Murakami y Alejandro Pastrana

La fluorescencia de rayos X es una técnica de alta resolución y se emplea en el análisis de la composición química elemental de materiales arqueológicos, como la obsidiana.



ARQUEOLOGÍA

76 Los perritos de la Sala Tolteca del Museo Nacional de Antropología EXPRESIÓN DE UNA TRADICIÓN MESOAMERICANA

Clementina Battcock, Stephen Castillo Bernal

Los *perritos* cerámicos son otra forma de expresar la importante relación sagrada que los pueblos mesoamericanos dieron a los perros, lobos y coyotes en una muy amplia articulación espacial y temporal.



82 Cráneos prehispánicos del valle de Maltrata

Rocío Hernández Flores, Carlos Serrano Sánchez, Yamile Lira López

Las prácticas de enterramiento y de materiales arqueológicos encontrados en Maltrata reflejan la presencia de grupos humanos con rasgos culturales y orígenes geográficos distintos.



HISTORIA

9 Estos tiempos que vivimos...

Eduardo Matos Moctezuma

Quiero comenzar con palabras de agradecimiento para la institución a la que pertenezco desde hace 66 años: el Instituto Nacional de Antropología e Historia. Durante ese lapso he vivido muchas cosas: aprender de mis maestros que me ayudaron a formarme; convivir con mis compañeros y cómplices de diversos acaeceres escolares, hasta el momento aquel en que me recibí como arqueólogo en 1965.

88 Notas para la presentación del libro 80 años, 80 piezas (1944-2024). EN LOS 80 AÑOS DEL MUSEO NACIONAL DE HISTORIA, CASTILLO DE CHAPULTEPEC

Salvador Rueda Smithers

Este libro conmemora las ocho décadas bien cumplidas del Museo Nacional de Historia en el Castillo de Chapultepec.



12 Mirada (de)vuelta

RETRATISTA DE COLEGAS.
EL ACERVO FOTOGRÁFICO
DEL ETNÓLOGO ANDRÉS
MEDINA. SEGUNDA PARTE
Carlos Arturo Hernández Dávila

14 Los pueblos originarios hoy
RITUALES DE LOS MAYAS DE
YUCATÁN: EL CH'A CHAAC
Alicia M. Barabas

Diego Matadamas Gomora, Jason Nesbitt, Rodolfo Aguilar Tapia, Leonardo López Luján, Julia Sjö Dahl, Tatsuya Murakami y Alejandro Pastrana

La fluorescencia de rayos X portátil para el análisis de procedencia de la obsidiana

EL CASO DEL TEMPLO MAYOR DE TENOCHTITLAN

La fluorescencia de rayos x (PXRF) es una técnica de alta resolución y se emplea en el análisis de la composición química elemental de materiales arqueológicos, como la obsidiana. Ha cobrado relevancia recientemente en el estudio de grandes cúmulos de muestras arqueológicas debido a su naturaleza no destructiva, rapidez y alta confiabilidad. Su aplicación a la colección del Proyecto Templo Mayor ha permitido identificar los yacimientos de los que provenía la obsidiana con la que se elaboraron artefactos, tanto rituales como utilitarios, entre 1375 y 1521 d.C.

La identificación de la procedencia de los artefactos es uno de los temas fundamentales en las investigaciones arqueológicas, especialmente en la comprensión de las interacciones entre distintas sociedades del pasado, así como de los sistemas y las rutas de transportación. Mesoamérica, en tanto área cultural, estuvo caracterizada por intensas relaciones a larga distancia a partir del Preclásico Temprano (2500-1200 a.C.). Toda suerte de materias primas, bienes semiprocesados y productos terminados transitaban por este vasto territorio. Junto con ellos via-

jaban personas, ideas, lenguas y estilos artísticos. En este sentido, el contacto cultural, facilitado por la economía política, influyó significativamente en el desarrollo de la superárea.

La obsidiana, sin lugar a duda, fue una de las materias primas con mayor movilidad. La abundancia de este vidrio volcánico permitió que llegara a todos los rincones de Mesoamérica. Los estudios de procedencia de la obsidiana han permitido explorar los métodos de explotación en los yacimientos, los patrones de aprovisionamiento, los sistemas de comercio e intercambio a larga distancia y a nivel local,

así como la tecnología y los modelos de producción de artefactos (fig. 1).

La obsidiana es un material ideal para este tipo de estudios debido a su abundancia en los contextos arqueológicos. Gracias a su elevada resistencia a los agentes de deterioro, logra conservarse en un estado óptimo incluso durante miles de años. También es un material químicamente homogéneo, lo que significa que su composición es muy similar, independientemente del tamaño del objeto y del lugar de su obtención. Por si esto fuera poco, los principales yacimientos de obsidiana en México están bien identificados (Cobean, 2002; Glascock, 2002), aunque recientemente se han reportado nuevas fuentes menores y, en ocasiones, depósitos secundarios dentro de yacimientos mayores (Blanco Morales *et al.*, 2023; Vicencio *et al.*, 2023).

LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X

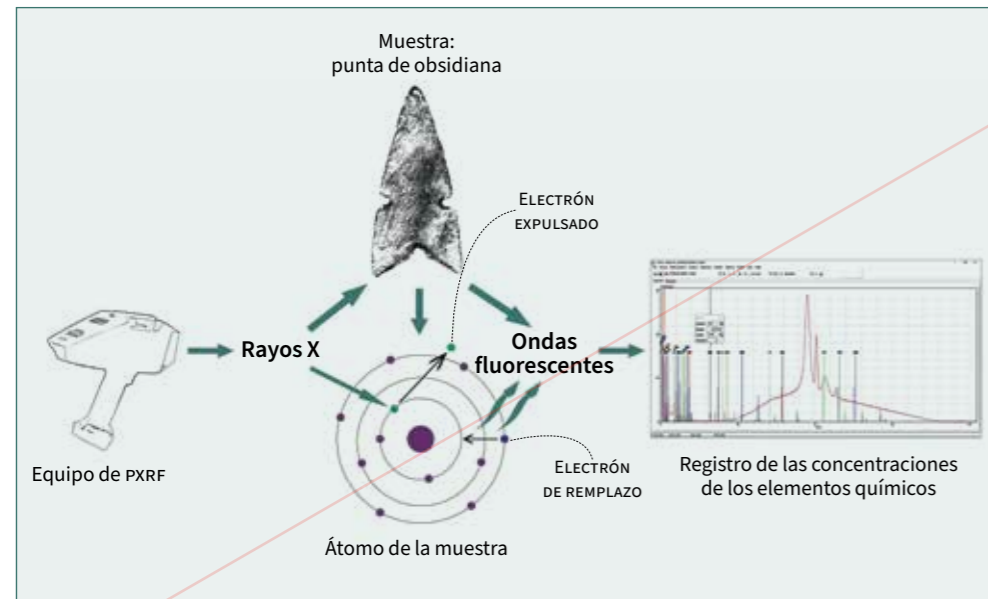
Existen diversas técnicas para el análisis químico de la obsidiana. Entre las más comunes destacan la activación neutrónica (INAA), la espectrometría de masas acoplada a inducción de plasma (ICP-MS), la emisión de rayos X por partícula inducida (PIXE) y la fluorescencia de rayos X (XRF). Esta última ha ganado popularidad debido a su naturaleza no destructiva, rapidez, confiabilidad y bajo costo en comparación con otras técnicas, así como su creciente disponibilidad en laboratorios de todo el mundo (Acosta Ochoa y García Gómez, 2022). En fechas recientes, los equipos para fluorescencia de rayos X (PXRF) han generado un interés aún mayor debido a su portabilidad y, con ello, a la facilidad para llevarlos directamente a los sitios arqueológicos, los laboratorios o los museos donde se encuentran las muestras. Con esto se han reducido los trámites burocráticos y los costos de exportación, pudiendo analizarse cúmulos estadísticamente significativos de muestras, sin importar si éstas son frágiles o difíciles de transportar.

De acuerdo con el arqueólogo Michael Glascock y sus colaboradores (1998), los estudios de composición química de materiales pétreos deben ser preferentemente de carácter cuantitativo, capaces de medir simultáneamente varios elementos y también sensibles a los elementos de interés para los investigadores, independientemente de la matriz, el tamaño y la forma de la muestra. Estos especialistas consideran la XRF y la INAA como las más eficaces en arqueología, destacando la primera, por ser portátil y no destructiva, como ya se señaló.



1. Cuentas de obsidiana con forma de cabeza de pato.

FOTO: MIRSA ISLAS / PROYECTO TEMPLO MAYOR-INAH

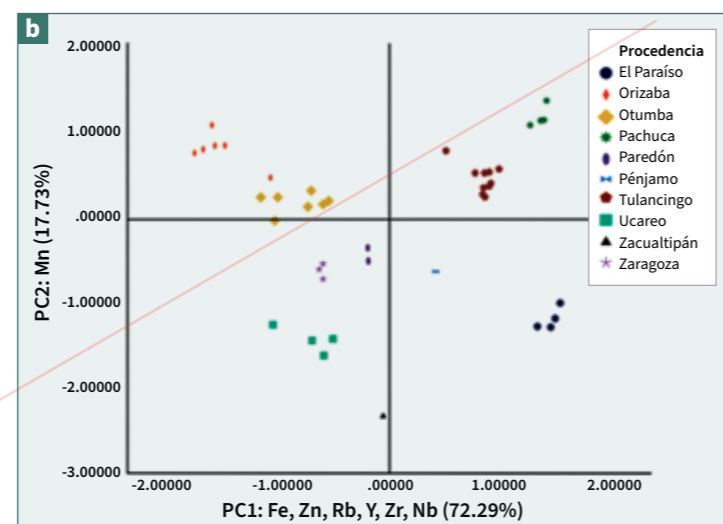


2. El funcionamiento de la fluorescencia de rayos X (XRF) portátil.
ELABORACIÓN: DIEGO MATADAMAS GOMORA

La XRF consiste en irradiar la muestra con un haz de rayos X que incide sobre los átomos del objeto en estudio, provocando la emisión de un electrón de los anillos internos, lo que deja un lugar vacante. Como consecuencia, el átomo se reajusta, desplazando uno de los electrones de los anillos externos hacia los internos. En este proceso se libera energía secundaria en forma de ondas fluorescentes, cuya intensidad varía en función del elemento químico que fue irradiado (Glascock, 2011). Al medir la cantidad de ondas y la intensidad es posible determinar la

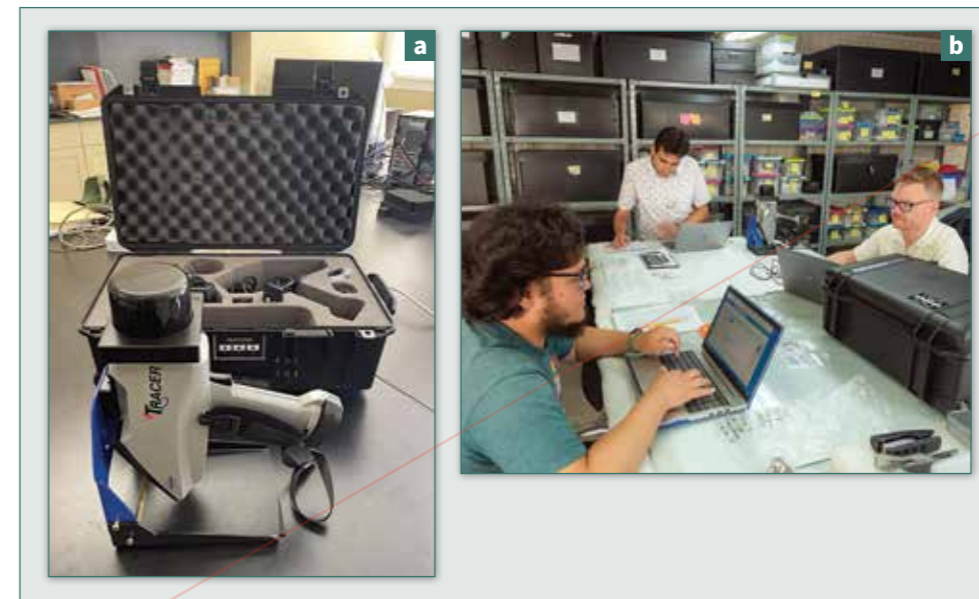
concentración de los elementos químicos que componen la materia prima (fig. 2). Hay que tener en cuenta, sin embargo, que toda la obsidiana presenta una composición química mayoritaria de dióxido de silicio (SiO₂), debido a su proceso de formación a partir del enfriamiento rápido de lava volcánica rica en sílice. Por ello, la clave para distinguir los diferentes yacimientos de los que procede radica en identificar y cuantificar los llamados elementos químicos “traza”, los cuales están presentes en la matriz del material en muy bajas concentraciones, usualmente por

Yacimiento	Ubicación
Sierra de Pachuca	Hidalgo
Tulancingo	
Zacualtipán	
Otumba	Estado de México
Ucareo	Michoacán
Pico de Orizaba	Veracruz
El Paraíso	Querétaro
Zaragoza	Puebla
Paredón	
Pénjamo	Guanajuato



3. a) Procedencia de las muestras geológicas utilizadas en el análisis de la obsidiana del Templo Mayor de Tenochtitlan.
b) Biplot de los componentes principales (PCA) de las muestras geológicas utilizadas como referencia.

ELABORACIÓN: AUTORES DE ESTE ARTÍCULO



4. a) Equipo de fluorescencia de rayos X portátil utilizado en el estudio de la obsidiana del Templo Mayor. b) Análisis de las muestras en el laboratorio del Proyecto Templo Mayor (PTM)-INAH.
FOTOS: DIEGO MATADAMAS GOMORA, LEONARDO LÓPEZ LUJÁN

debajo del 1%, por lo que se registran en partes por millón (ppm). Dichas concentraciones son distintas en cada yacimiento, por lo que se consideran su “huella química” y son cruciales para ubicar geográficamente el origen de las materias primas. Las únicas excepciones son las obsidianas verdes y sus variedades doradas que provienen de la Sierra de Pachuca, cuya procedencia puede determinarse visualmente por sus tonalidades.

No está de más señalar que, en los estudios de XRF, es indispensable el análisis de muestras de obsidiana en bruto tomadas directamente en los yacimientos, las cuales servirán como estándar para conocer la “huella química” de la fuente natural. Para el presente estudio, por ejemplo, relativo a los artefactos descubiertos en el Templo Mayor de Tenochtitlan, nos valimos de 43 muestras geológicas procedentes de diez yacimientos distintos de los modernos estados de México, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Veracruz, Michoacán y Guanajuato (fig. 3a).

El procedimiento analítico habitual consiste en registrar en una tabla las mediciones de cada elemento químico tomadas con el equipo de XRF. Estos datos se procesan mediante complejos análisis estadísticos con el fin de definir grupos de artefactos con concentraciones similares de elementos traza (fig. 3b). Cabe señalar que cada equipo de XRF cuenta con una calibración única. Por ello, tanto las muestras geológicas de los yacimientos como las arqueológicas deben medirse con el mismo dispositivo y siguiendo exactamente los mismos parámetros. Esto garantiza la mayor confiabilidad de los resultados.

ANÁLISIS DE ARTEFACTOS DE OBSIDIANA DEL TEMPLO MAYOR

En 2023 analizamos un total de 788 artefactos de obsidiana recuperados en las distintas etapas constructivas del Templo Mayor de Tenochtitlan (Matadamas Gomora *et al.*, 2025), empleando un equipo de la marca Bruker, modelo Tracer 5i (fig. 4). Cada objeto se expuso al haz de rayos X durante 60 segundos, midiendo así las concentraciones de 10 elementos químicos diferentes (Mn, Fe, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y Th). Posteriormente, los datos fueron procesados mediante análisis estadísticos de *clustering* jerárquico (HCA), función discriminante (DFA) y componentes principales (PCA).

Los resultados evidenciaron la presencia de ocho yacimientos geológicos distintos, siendo la Sierra de Pachuca la que agrupa la mayor cantidad de objetos. De manera particularmente significativa, se identificaron objetos elaborados con obsidianas provenientes de fuentes ubicadas más allá de las fronteras políticas de la Triple Alianza, como Paredón, Zacualtipán y Ucareo (fig. 5). Esto sugiere que los mexicas privilegiaban la obsidiana de Pachuca y que probablemente la adquirían directamente en el yacimiento mismo, pero al mismo tiempo participaban en sistemas comerciales con otras sociedades que tenían acceso a otras fuentes, siendo los mercados locales o *tianquiztli* los principales lugares de intercambio.

Notamos que la variabilidad del origen de la obsidiana en contextos ceremoniales es más limitada. Los mexicas preferían la obsidiana de Pachuca para sus artefactos ritua-

Grupo	Yacimiento	Número de artefactos
1	Sierra de Pachuca	702
2	Otumba	27
3	Paredón	15
4	Ucareo	13
5	Tulancingo	12
6	El Paraíso	9
7	Zacualtipán	8
8	Pico de Orizaba	2
		Total: 788



5. **a)** Yacimientos geológicos de donde procede la obsidiana con que fueron elaborados los objetos del Templo Mayor, identificados a partir de los análisis estadísticos de las muestras. **b)** Fuentes de obsidiana identificadas y su relación con los límites territoriales de los mexicas.

ELABORACIÓN: AUTORES DE ESTE ARTÍCULO

les, mientras que los utilitarios (navajas y lascas) presentan una mayor diversidad en cuanto a su proveniencia (fig. 6). Un análisis diacrónico demuestra que la obsidiana de Pachuca siempre fue el tipo más común a lo largo de la historia de Tenochtitlan. El porcentaje de esta obsidiana, en comparación con otros yacimientos, se mantiene siempre entre el 82 y el 94%. Sin embargo, en nuestro análisis notamos cambios significativos en los tipos de obsidiana provenientes de otras fuentes en las primeras etapas constructivas del Templo Mayor y después de la consolidación de la Triple Alianza, alrededor de 1430 d.C. Durante la etapa II (1375-1427 d.C.), los mexicas consumieron casi exclusivamente obsidiana de Pachuca. La etapa III (1427-1440 d.C.) marca el primer episodio de diversificación de las redes de aprovisionamiento, probablemente motivado por el ascenso al poder de Itzcóatl, quien conquistó regiones más allá de la Cuenca de México y derrotó a los tepanecas de Azcapotzalco, sentando las bases para el desarrollo del imperio mexica (Berdan y Anawalt, 1997).

Durante la etapa IV (1440-1481 d.C.), que corresponde al periodo de expansión imperialista de Tenochtitlan, las tendencias cambiaron hacia la obsidiana de Otumba, la cual se convirtió en la segunda fuente en importancia, seguida por las de Paredón y Ucareo. Además, los yacimientos de Tulancingo, El Paredón, Zaragoza y Pico de Orizaba se incorporaron a la esfera de influencia política mexica. En contraste, la etapa V (1481-1486 d.C.) muestra una reducción en la cantidad y variabilidad de la obsidiana, rela-

cionada con la desestabilización política y económica del breve reinado de Tízoc. Posteriormente, durante la etapa VI (1486-1502 d.C.), la cantidad y diversidad de la obsidiana aumentan considerablemente, tendencia que se mantuvo en la etapa VII (1502-1520 d.C.).

REFLEXIÓN FINAL

Sería plausible suponer que los mexicas habrían reducido la diversidad de tipos de obsidiana al tener un mayor control del territorio, incluyendo el acceso privilegiado a la Sierra de Pachuca. Sin embargo, el número de yacimientos identificado demuestra que los mexicas se integraron a los sistemas de mercado de la época y se beneficiaron de ellos. La única manera de llegar a esta conclusión, con un índice elevado de certeza, fue analizar una muestra de cientos de artefactos, tanto rituales como no rituales. En fechas próximas seguiremos incrementando el número de objetos estudiados con el fin de reforzar nuestras aseveraciones. Para finalizar, reiteramos los principales beneficios de la fluorescencia de rayos X portátil, un análisis no destructivo, rápido, económico y preciso. Consideramos que estas ventajas pueden motivar más estudios de procedencia que nos permitan ampliar el conocimiento sobre las redes de intercambio de este material tan importante a lo largo y ancho de Mesoamérica, e identificar sus variaciones temporales y espaciales en relación con los cambios sociopolíticos en esta superárea. **am**



6. Ejemplos de los artefactos rituales y utilitarios de la colección del PTM-INAH analizados. **a)** Mazo. Ofrenda 139/A12 (TM-592). **b)** Cetro *ehecatopilli*. Ofrenda 125/A78 (TM-584). **c)** Cuchillo miniatura. Ofrenda 94/10-262998 4/5 (TM-787). **d)** Cuenta tubular. Ofrenda 39/10-265454 (TM-748). **e)** Pendiente anular. Ofrenda 39/10-251281 (TM-757). **f)** Punta de proyectil. Op. 6/A272 (TM-345). **g)** Punta de proyectil. Ofrenda 120/A669 (TM-469). **h)** Navaja prismática. Op. 4/A600 (TM-241). **i)** Núcleo prismático. Op. 16/A73 (TM-97).

FOTOS: MIRSA ISLAS

Agradecimientos

Patricia Ledesma Bouchan, Michelle De Anda, Mirsa Islas Orozco, Gonzalo Emilio Díaz Pérez, MinJoo Choi, Dan Healan, Marcello Canuto, Christopher Rodning e Ivonne Athié.

Diego Matadamas Gomora. Candidato a doctor en arqueología por la Universidad de Tulane.
Jason Nesbitt. Profesor asociado en el Departamento de Antropología de la Universidad de Tulane.
Rodolfo Aguilar Tapia. Arqueólogo por la ENAH y miembro del Proyecto Templo Mayor-INAH.
Leonardo López Luján. Doctor en arqueología por la Universidad de París Nanterre y director del Proyecto Templo Mayor-INAH.
Julia Sjö Dahl. Estudiante de doctorado en el Departamento de Antropología de la Universidad de Tulane.
Tatsuya Murakami. Profesor asociado en el Departamento de Antropología de la Universidad de Tulane.
Alejandro Pastrana. Doctor en arqueología por la ENAH y profesor-investigador de la Dirección de Estudios Arqueológicos-INAH.

Para leer más...

ACOSTA OCHOA, Guillermo, y Víctor Hugo García Gómez, "La importancia de la obsidiana de Otumba durante el período Arcaico en la Cuenca de México: un análisis mediante pXRF", *Latin American Antiquity*, vol. 33, núm. 4, 2022, pp. 773-790.
 BERDAN, Frances F., y Patricia Rieff Anawalt, *The Essential Codex Mendoza*, University of California Press, Los Ángeles, 1997.
 BLANCO MORALES, Ericka Sofía, Guillermo Acosta Ochoa y Rodrigo Esparza López, "La Isla de Atitlán: un nuevo yacimiento de obsidiana en el Occidente de México", *Ancient Mesoamerica*, núm. 34, 2023, pp. 627-639.
 COBEAN, Robert H., *Un mundo de obsidiana: minería y comercio de un vidrio volcánico en el México antiguo*, INAH /University of Pittsburgh, México, 2002.
 GLASCOCK, Michael D., "Characterization of the Obsidian Sources in Northern Mesoamerica", en Robert H. Cobean, *Un mundo de obsidiana: minería y comercio de un vidrio volcánico en el México antiguo*, INAH /University of Pittsburgh, México, 2002, pp. 205-238.
 ———, Geoffrey E. Braswell y Robert H. Cobean, "A Systematic Approach to Obsidian Source Characterization", en M. Steven Shackley (coord.), *Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory*, Plenum, Nueva York, 1998, pp. 15-65.
 MATADAMAS GOMORA, Diego, Jason Nesbitt, Rodolfo Aguilar Tapia, Leonardo López Luján, Julia Sjö Dahl, Tatsuya Murakami y Alejandro Pastrana, "Compositional analysis of obsidian artifacts from the Templo Mayor of Tenochtitlan, capital of the Mexica (Aztec) Empire", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 122, núm. 19, 2025, pp. 1-11.
 VICENCIO, A. Gabriel, Aurelio López Corral, Alejandro Mitrani, Armando Arciniega y David M. Carballo, "Characterisation of Obsidian Subsource Variability at El Paredón, Mexico", *Archaeometry*, vol. 65, núm. 6, 2023, pp. 1215-1231.