

# La importancia de la obsidiana de Otumba durante el período Arcaico en la Cuenca de México: Un análisis mediante pXRF

Guillermo Acosta Ochoa  y Víctor Hugo García Gómez

*Se caracterizó mediante análisis de fluorescencia de rayos X portable (pXRF) un conjunto de obsidianas (n = 142) del sitio San Gregorio Atlapulco, en Xochimilco, Ciudad de México, procedentes de los niveles precerámicos, a través del análisis de 10 elementos químicos (Mn, Fe, Zn, Ga, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb); esto nos permitió conocer la composición elemental de cada uno de los artefactos para posteriormente efectuar comparaciones con obsidianas de yacimientos sistemáticamente muestreados. Los resultados indican una amplia dominancia de la subfuente de Soltepec en Otumba (94%), además de otras dos fuentes menores que incluyen a Pachuca. Lo anterior tiene implicaciones importantes sobre los procesos de interacción de los grupos precerámicos del Holoceno medio en la Cuenca de México, y permite vislumbrar la importancia de la obsidiana de Otumba para el período denominado Arcaico, y la formación de redes de intercambio tempranas que continuarían durante el período Formativo.*

**Palabras clave:** pXRF, obsidiana, Arcaico, Cuenca de México, sistemas de intercambio

*A set of obsidian artifacts (n = 142) from the preceramic levels of the San Gregorio Atlapulco site, in Xochimilco, Mexico City, was studied with portable X-ray fluorescence analysis (pXRF) through the analysis of 10 chemical elements (Mn, Fe, Zn, Ga, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb); this research has made it possible to identify the elemental composition of each of the artifacts and to make comparisons with obsidian from systematically sampled deposits. The results indicate a broad dominance of the Soltepec subsurface in Otumba (94%), in addition to two other minor sources that include Pachuca. These findings have important implications for the interaction processes of the preceramic groups living in the Basin of Mexico during the Middle Holocene and give us insight into the importance of the obsidian of Otumba during the Archaic period and the formation of early exchange networks that would continue during the Formative period.*

**Keywords:** pXRF, obsidian sourcing, Archaic, Basin of Mexico, exchange systems

## La obsidiana durante el período Precerámico en el área mesoamericana

Este estudio tiene como objetivo determinar la procedencia de la obsidiana empleada para la manufactura de artefactos del período Precerámico en el sitio de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, para conocer los yacimientos explotados durante esa época y evaluar los procesos tempranos de interacción entre las distintas comunidades que anteceden al período Formativo en la Cuenca de México.

El período Arcaico tardío, que comprende el Holoceno medio (6000-2000 aC) es de gran interés para la arqueología, pues se ha vinculado con el desarrollo de las primeras comunidades sedentarias en la Cuenca de México (Niederberger 1979); no obstante, es un período poco conocido a pesar de su relevancia para el entendimiento de los procesos subsecuentes que van configurando lo que posteriormente se conocerían como rasgos típicos mesoamericanos (Acosta 2008; MacNeish y Nelken-Terner 1983; Figura 1). Este período también es importante para evaluar los

**Guillermo Acosta Ochoa** ([acostaoschoa@gmail.com.mx](mailto:acostaoschoa@gmail.com.mx), autor de contacto) ■ Laboratorio de Prehistoria y Evolución del Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México  
**Víctor Hugo García Gómez** ■ Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

*Latin American Antiquity* 33(4), 2022, pp. 773–790

Copyright © The Author(s), 2022. Published by Cambridge University Press on behalf of the Society for American Archaeology. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

doi:10.1017/laq.2022.17

Años aC	Cuenca de México	Tehuacán	Oaxaca	Chiapas	Guerrero	
	Formativo Temprano					
2000	Zohapilco	Purrón	Martínez	Chantuto B	Ostiones	
3000	¿Hiatus?	Abejas	Blanca			
4000	Atlapulco	Coxcatlán	Jícaras	Chantuto A		
5000	Playa II		El Riego		¿?	
6000	Playa I	Ajuereado	Naquitz			
7000						
8000						
9000						
10000	Santa Isabel Iztapan					

Figura 1. Cuadro cronológico del período Arcaico en la Cuenca de México y otras regiones de Mesoamérica. Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa.

mecanismos sociales y ecológicos que estimularon el surgimiento de centros urbanos como Cuicuilco o Teotihuacán (Sanders et al. 1979).

Por desgracia, los sitios arqueológicos relacionados al Holoceno medio son escasos (Figura 2), pues de una docena de sitios relacionados al período Precerámico en la Cuenca de México, sólo tres pueden incluirse en el Holoceno medio, mientras que el resto corresponden al Pleistoceno final y al Holoceno temprano (Acosta 2012). Estos tres sitios son: San Vicente Chicoloapan, al oriente del Lago de Texcoco (Romano 1963), la milpa de Zohapilco en el sitio de Tlapacoya, excavado por Niederberger (1976, 1979) y San Gregorio Atlapulco, un islote en medio del Lago Xochimilco (McClung y Acosta 2015).

El sitio San Vicente Chicoloapan, ubicado al oriente de la Cuenca de México, fue excavado en 1958 por el extinto Departamento de Prehistoria del INAH, después del hallazgo fortuito de restos humanos por pobladores de la localidad quienes, al realizar un pozo, hicieron descubrimiento de un cráneo y otros huesos humanos (Romano 1963). Los trabajos arqueológicos en el sitio dieron como resultado el reconocimiento de restos

de hogares, así como la presencia de restos humanos y materiales líticos asociados a los mismos a unos 3 m de profundidad. De los materiales líticos destaca la presencia de fragmentos de metates, un fragmento de punta de proyectil, así como lascas de obsidiana y basalto (Romano 1963). Dos controversiales dataciones obtenidas por hidratación de obsidiana dieron una antigüedad de entre 7000 y 5600 años cal aP (Romano 1963). Las dataciones de los restos óseos, no obstante, indican que son más recientes, de alrededor de 4410 ± 50 años de radiocarbono (González et al. 2003). Este primer estudio dejó en claro que las comunidades precerámicas de la Cuenca de México empleaban obsidiana de manera regular para manufacturar sus artefactos líticos. Desgraciadamente no existe un análisis detallado de la lítica del sitio, en particular de la obsidiana, que nos permita tener un mayor conocimiento sobre los yacimientos utilizados para este período.

Otro sitio importante para este período es Zohapilco. Este sitio fue investigado por Niederberger (1976, 1979) y es probablemente el sitio arqueológico mejor conocido del Holoceno

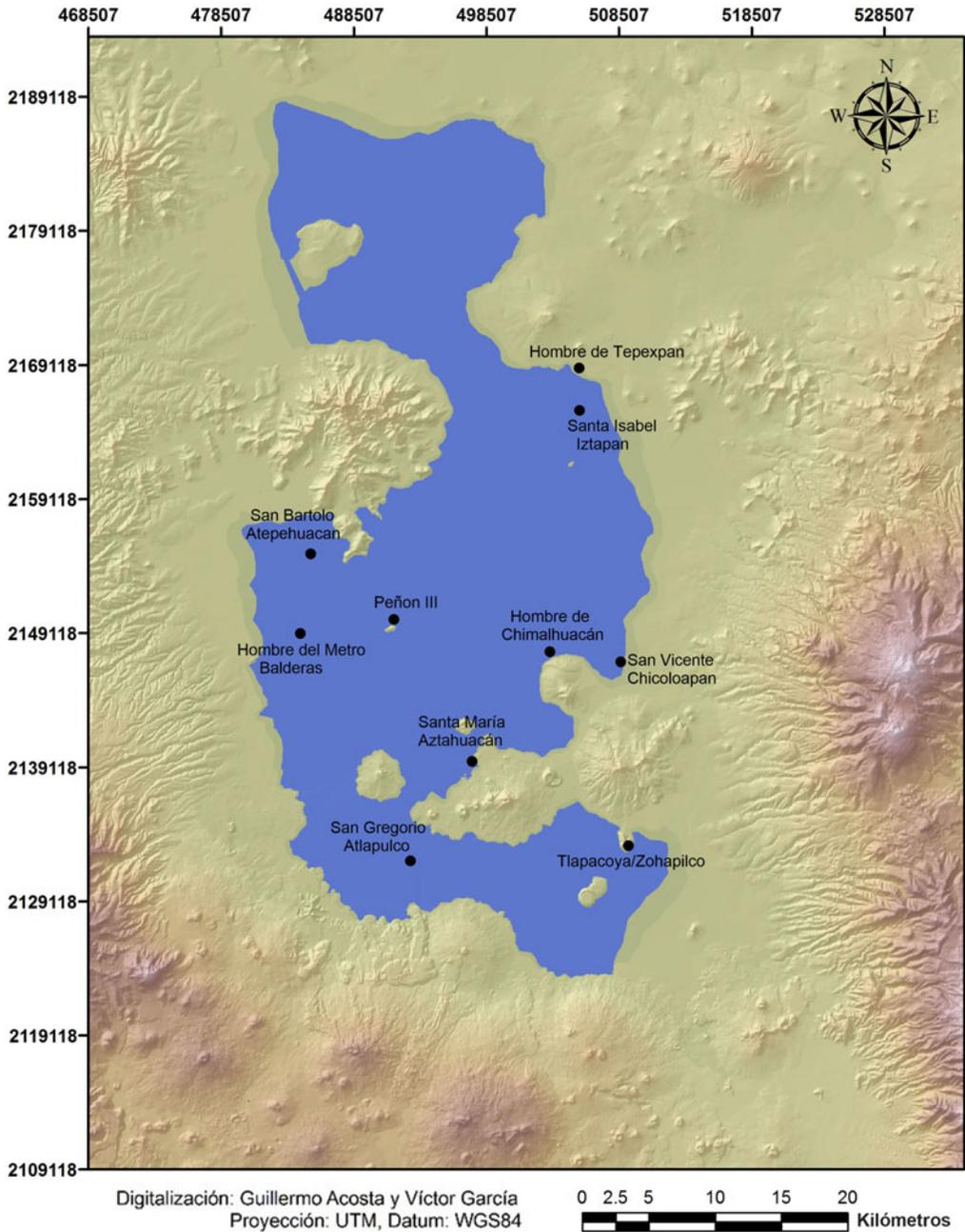


Figura 2. Mapa de la Cuenca de México y los principales sitios precerámicos. Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa y Víctor García Gómez.

medio en la Cuenca de México. En Zohapilco, Niederberger observa un período inicial de comunidades sedentarias, denominado fase Playa (6000-4500 aC), vinculado a la explotación del entorno lacustre, pero sin plantas domesticadas (esta fase se encuentra dividida

en dos subfases, Playa I y Playa II); y un período subsecuente, fase Zohapilco (3500-2200 aC) en el que se registra la aparición de plantas domesticadas asociadas a un aumento en el número de piedras de molienda y artefactos de obsidiana (Niederberger 1979). Aunque la autora

menciona que la obsidiana que predomina es del tipo veteada gris-blanca (a excepción de un buril de obsidiana verde), no hace un análisis más detallado de su procedencia, limitándose a definir la proporción de la obsidiana presente en el sitio por fases (Playa 1: 16%; Playa 2: 22%; Zohapilco: 38%) y sugiriendo a Otumba como la fuente probable de la obsidiana del sitio (Niederberger 1979).

### **San Gregorio Atlapulco, un sitio con ocupación precerámica en Xochimilco**

El sitio de San Gregorio Atlapulco se encuentra ubicado al sur de la Cuenca de México, al centro del Lago de Xochimilco. Aunque en la literatura se le conoce como “El Japón” (Ávila 1995; González 1996; Lechuga 1977; Parsons et al. 1982), hemos dejado el nombre “San Gregorio” para distinguir la ocupación precerámica de la ocupación posclásica del sitio. El primer reporte del sitio fue realizado por Parsons y colaboradores (1982), quienes realizan un croquis general del sitio y sondeos en uno de los montículos. Posteriormente, Lechuga (1977) realiza una topografía más detallada y hace recolección de cerámica de superficie. Más tarde, González (1996), quien se interesó en profundizar en el sistema de trabajo chinampero, realizó excavaciones al poniente del sitio, elaboró un mapa detallado y localizó 32 montículos y unas 30 parcelas de chinampas.

En la década de los 1990, debido a la realización de la construcción de un distrito de riego, Ávila (1995) lleva a cabo trabajos de salvamento en el sitio en el que pudo identificar seis capas estratigráficas, dos de las cuales se encontraban asociadas a una ocupación precerámica en la que abundaron fragmentos de huesos de animales, caparazones de tortuga y semillas junto con piedras de molienda de basalto asociados a restos de hogares, y abundantes artefactos de obsidiana gris. A partir de sus observaciones, Ávila asignó una cronología relativa a los estratos precerámicos, ubicándolos tentativamente de entre el 2500 y 2000 aC.

Finalmente, entre junio de 2013 y agosto de 2015 se efectuaron nuevos trabajos arqueológicos en el sitio, estos consistieron en levantamientos topográficos, fotogrametría mediante VANT (vehículos aéreos no tripulados) y

excavaciones sistemáticas en dos unidades asociadas a la ocupación precerámica. Estos trabajos formaron parte del Proyecto Agricultura Inicial y Sociedades Aldeanas en la Cuenca de México (Figura 3). Como resultado se localizaron materiales botánicos, faunísticos y lítica (tallada y pulida) manufacturada en basalto, calcedonia, sílex y obsidiana, asociados a dos niveles de ocupación, la más antigua (capa IV) contemporánea con la fase Playa de Niederberger (1979) y datada entre aproximadamente 6400 y 5000 aC, y la más tardía datada entre 4300 y 3800 aC, que corresponde con una fase intermedia entre las fases Playa y Zohapilco propuestas para el sitio de Zohapilco por Niederberger (1976), y que hemos nombrado como fase Atlapulco (Figura 4; Acosta et al. 2021; McClung y Acosta 2015).

En resumen, los artefactos de obsidiana fueron manufacturados mayoritariamente sobre obsidiana gris-negra veteada (Figura 5), y presentan gran similitud con la tecnología zohapilqueña de lítica tallada descrita por Niederberger (1976) para Zohapilco, manufacturada sobre pequeñas lascas con retoque marginal donde es frecuente el uso de fractura bipolar. Al igual que en Zohapilco, también se presentan escasos ejemplos de talla bifacial (puntas de proyectil del tipo trinidad) y navajillas prismáticas. Para este estudio, se analizaron la totalidad de las piezas de excavación de los niveles precerámicos (capas II a IV) datados mediante  $^{14}\text{C}$  (carbón vegetal) que cumplían los parámetros mínimos de análisis (0,8 cm de diámetro y alrededor de 0,3 cm de espesor, 142 piezas). El color predominante de la obsidiana fue gris-negra opaca, ocasionalmente veteada y sólo algunas piezas fueron de color meca (rojiza) o verde; para una descripción más detallada de los contextos, dataciones y materiales culturales de las ocupaciones precerámicas de San Gregorio Atlapulco, véase Acosta y colaboradores (2021).

### **Análisis composicional de obsidianas mediante fluorescencia de rayos X portátil**

Los análisis de procedencia de la obsidiana han sido empleados recurrentemente en arqueología, y entre los diversos métodos usados para determinar procedencia se pueden mencionar desde los análisis visuales, los análisis petrográficos y

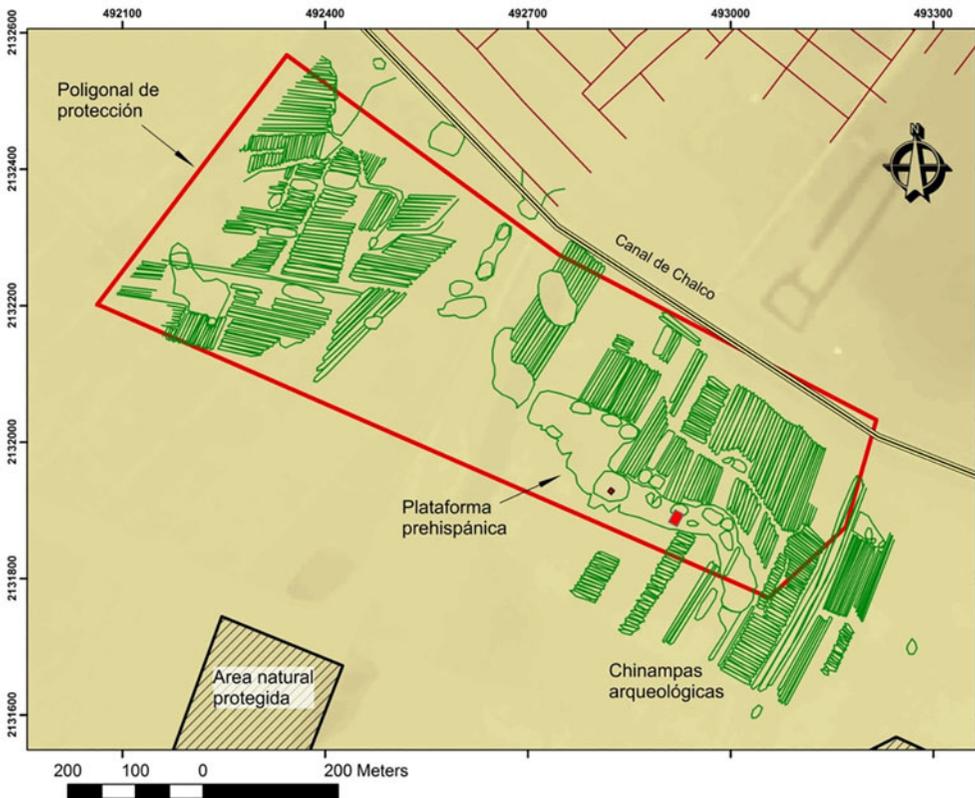


Figura 3. Mapa general del sitio San Gregorio Atlapulco, donde se puede distinguir la plataforma prehispánica, las chinampas arqueológicas y la poligonal de protección del sitio y unidades de excavación (cuadros en rojo). Datum UTM WGS84. Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa, modificado de González 1996. (Color en la versión electrónica)

microscópicos de la obsidiana, que pueden ser de utilidad para analizar los microcristales orientados por el flujo del derrame (Pastrana 1987), hasta los análisis más especializados como la activación neutrónica, PIXE, o fluorescencia de rayos X, entre otras técnicas (Glascok 2011; Glascok et al. 1998). La fluorescencia de rayos X (XRF por su acrónimo en inglés) es particularmente útil debido a que es un análisis confiable, no destructivo y de un costo relativamente bajo, además de ser utilizado de forma cada vez más amplia en la arqueología desde el estudio pionero de Jack y Heizer (1968). Por otro lado, el acelerado desarrollo de equipos portables pXRF ha permitido su utilización en los más diversos materiales y condiciones (Shugar y Mass 2012) y son particularmente idóneos en los estudios de procedencia de la obsidiana cuando se emplea una calibración empírica (Shackley 2011; Speakman y Shackley 2013).

Por otro lado, de acuerdo con Clark y Lee (1990), el estudio de la obsidiana como material arqueológico es particularmente útil, entre otras cosas porque: (a) fue un recurso escaso que tenía que ser importado a la mayoría de los sitios; (b) la procedencia de los artefactos de obsidiana puede ser determinado de manera precisa a través de técnicas físico-químicas; (c) es un objeto de elevada preservación, por lo que es posible determinar las proporciones de cada yacimiento que fueron importadas a un sitio en particular; y (d) se localiza en casi todos los sitios mesoamericanos, lo que facilita las comparaciones diacrónicas y sincrónicas.

El empleo de pXRF en el análisis de procedencia de obsidianas ha sido creciente en los últimos años (para una revisión, véase el Apéndice A en Speakman y Shackley 2013). Sin embargo, aunque este tipo de análisis van en aumento en el área mesoamericana, su aplicación a sociedades precerámicas es aún muy limitado. Entre los

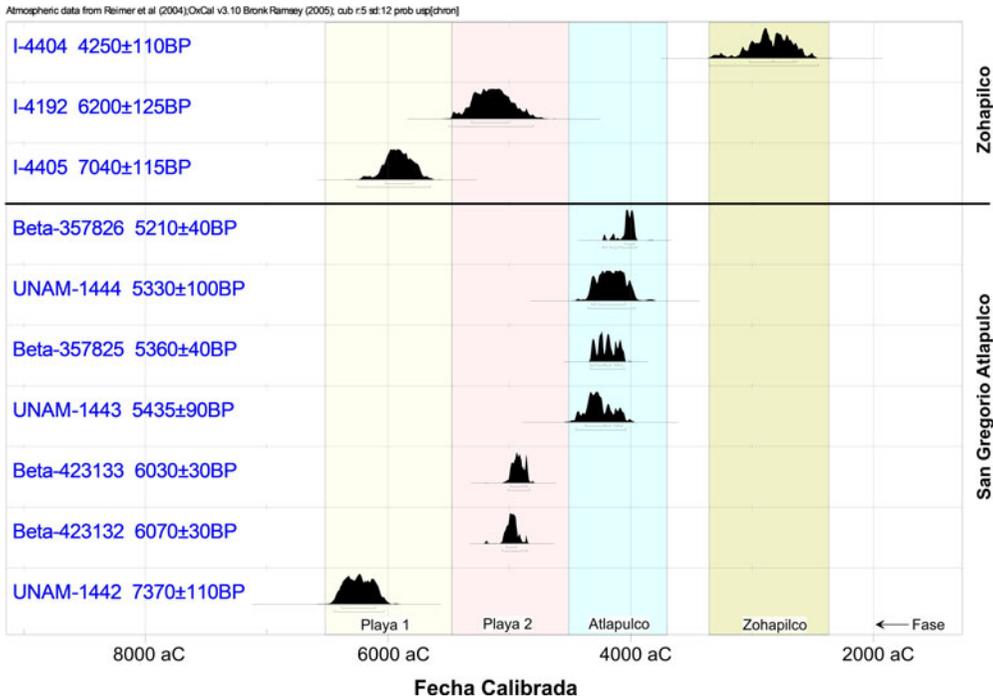


Figura 4. Dataciones  $^{14}\text{C}$  calibradas para San Gregorio Atlapulco y comparativas con el sitio de Zohapilco estudiado por Niederberger (1976). A la izquierda se representan las dataciones  $^{14}\text{C}$  y a la derecha los gráficos de las fechas calibradas representando 2 desviaciones estándar. Imagen de Guillermo Acosta Ochoa.

escasos estudios de procedencia de obsidiana en artefactos precerámicos por técnicas arqueométricas está el trabajo pionero de Cobean (2002) quien, mediante análisis de activación neutrónica (AAN) aplicado a una punta del Arcaico recuperada en la cueva El Tecolote, la identifica como obsidiana local (Tulancingo). En los sitios arcaicos de la costa de Chiapas también se han efectuado análisis de caracterización geoquímica, como el realizado por Nelson y Voorhies (1980); ellos analizan mediante AAN y XRF 18 artefactos de obsidiana de tres sitios del Arcaico tardío en la costa de Chiapas (Tlacuachero, Campón y Zapotillo), y determinan que el 72% procede del cercano yacimiento de Tajumulco (en la frontera con Guatemala), mientras que el 28% procedía de El Chayal, localizado al doble de distancia. Otro estudio en materiales de obsidiana del precerámico es el reportado para el sitio de Vuelta Limón en donde, combinando inspección visual y análisis geoquímico, se identifica que el 93% procede de las fuentes de Tajumulco, Guatemala y el 3% restante procede de San Martín Jilotepeque, Guatemala (Voorhies 2004).

En la Cuenca de México, a pesar de la creciente importancia en la utilización de obsidiana para la manufactura de artefactos en sitios del Arcaico como Chicoloapan y Zohapilco, no se había reportado un análisis sistemático de la procedencia de la materia prima mediante pXRF hasta el presente estudio.

#### *Análisis de procedencia de la obsidiana de San Gregorio Atlapulco mediante pXRF: Materiales y métodos*

Para este estudio, se evaluaron 10 de los elementos químicos más representativos en las muestras (Mn, Fe, Zn, Ga, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb), tanto arqueológicas como geológicas, analizando la concentración de los distintos elementos en partes por millón (ppm). Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Prehistoria y Evolución Humana del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, usando un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (pXRF por sus siglas en inglés) Bruker Tracer III-V SD, configurado a 40 keV, 25  $\mu\text{A}$ , con



Figura 5. Artefactos precerámicos de obsidiana de San Gregorio Atlapulco. Foto de Víctor Hugo García Gómez. (Color en la versión electrónica)

un filtro de a 12 mil Al, 1 mil Ti, 6 mil Cu, irradiando las muestras durante 200 segundos, conforme a la metodología establecida por Speakman (2012). Esta configuración coincide con los parámetros de la calibración empírica instalada en el equipo (Glascock y Ferguson

2012) y permite obtener resultados comparables con otros métodos confiables como es la activación neutrónica, y cuyos alcances han sido validados en estudios arqueológicos previos (Forster y Grave 2012; Nazaroff et al. 2010; Reuther et al. 2011).

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, el equipo fue evaluado en su desempeño durante el tiempo de trabajo de una sesión estándar de análisis de tres horas, observando que las variaciones se encuentran dentro de los parámetros válidos para los cinco principales elementos empleados en el análisis estadístico (no mayor al 2% de la desviación estándar relativa o RSD (*relative standard deviation*) y comparable con otros equipos de laboratorio (Speakman y Shackley 2013).

El muestreo geológico de la obsidiana para el análisis comparativo se realizó en 15 yacimientos del Eje Neovolcánico Transmexicano (Figura 6); para ello tomamos como punto de partida el muestreo de los yacimientos más cercanos al sitio de San Gregorio Atlapulco, y de ahí seguimos con los más lejanos. Cabe aclarar que esta etapa de muestreo tuvo como objetivo la creación de una base de datos de composición geoquímica de los yacimientos para tener una base comparativa (la cual aún se encuentra en construcción), antes que la localización de las áreas de explotación temprana en los mismos, pues esto último nos llevaría un proyecto de investigación de enfoque geológico para cada yacimiento, el cual debería partir de las transformaciones que el entorno ha sufrido hasta la actualidad. En cada yacimiento, las muestras fueron recolectadas, buscando obtener la mayor variación posible en cuanto a sus características macroscópicas (coloración, textura, etcétera), y fueron colectadas entre 20 y 30 muestras individuales por yacimiento intentando muestrear la mayor extensión de este, se georreferenciaron las unidades de muestreo y se le asignó una clave individual a cada muestra (García 2018).

Los resultados del presente trabajo muestran compatibilidad con los publicados por Cobean (2002) para las obsidias del Eje Neovolcánico y, aunque no necesariamente son equivalentes, pues Cobean utiliza la técnica de AAN para su investigación, la comparación de elementos presentes en ambos estudios fue coincidente (Tabla 1).

A partir de los valores del análisis composicional de las muestras geológicas, se efectuó el análisis estadístico para determinar la variación al interior de los yacimientos y entre ellos, a base de las concentraciones de los elementos analizados. Estos valores fueron comparados

con los resultados obtenidos para las obsidias arqueológicas de San Gregorio Atlapulco. Los resultados se detallan a continuación.

## Resultados

### *Caracterización geoquímica de las muestras geológicas de referencia*

Una vez obtenida la composición elemental de los yacimientos de obsidiana del centro de México, se elaboró una base de datos (Tabla suplementaria 1) que ha servido como base de referencia para compararla con los materiales arqueológicos. El estudio estadístico mediante análisis de componentes principales (ACP), realizado con el software libre Past, permitió definir que cinco de los 10 elementos analizados (Y, Rb, Sr, Zr y Nb) son los más significativos para definir la procedencia (Figura 6), mientras que los componentes principales 1 y 2 incluyen casi el 99% de la varianza.

Por otro lado, las elipses de cada grupo (95% de confianza) separan los principales yacimientos, incluidos aquellos geográficamente cercanos como Zinapécuaro-Ucareo, o los tres yacimientos que componen el sistema de Otumba (Soltepec, Malpaís y Cerro Ixtepec). Este último caso es importante, pues el análisis visual preliminar indicaba una predominancia de la obsidiana de Otumba para los materiales líticos de San Gregorio (McClung y Acosta 2015), pero este tipo de análisis no permite distinguir entre subfuentes.

### *Caracterización geoquímica de obsidias arqueológicas de San Gregorio Atlapulco*

Para el caso de las muestras arqueológicas, se empleó la misma configuración de análisis que las muestras geológicas, y también se realizó el ACP con los mismos cinco elementos traza, indicando que el yacimiento del área de Soltepec en Otumba representa casi el 94% de la obsidiana identificada, mientras que el yacimiento de Cerro Ixtepec, también en Otumba, representa sólo el 3,5% y Pachuca el 2,8% (Tabla 2). Estos resultados se parecen más a los obtenidos para los sitios del interior de Chiapas, como Vuelta limón; que a los sitios costeros del Arcaico de Chiapas, como Chantuto (Tabla 3). Un dato interesante es que la subfuente de Malpaís fue el único de los tres yacimientos del

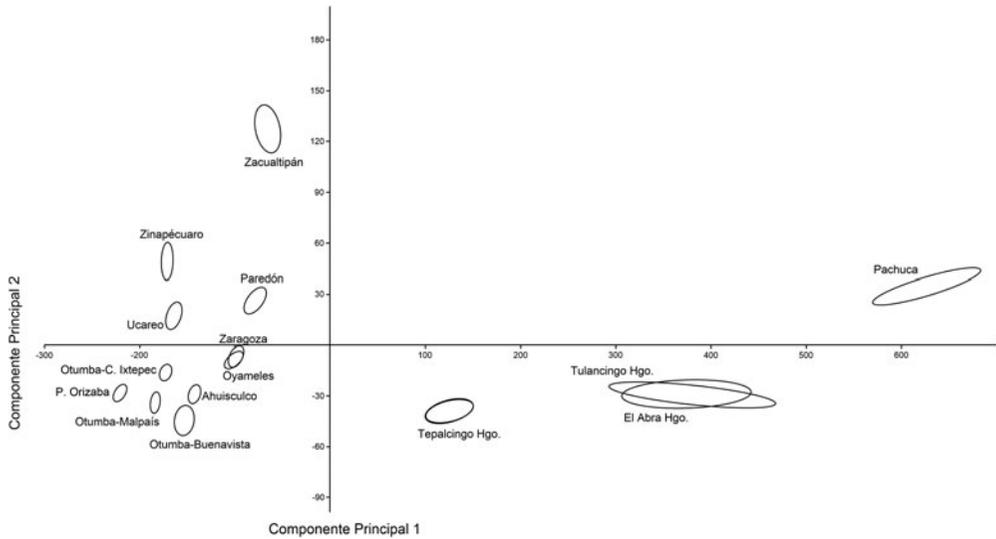


Figura 6. Gráfico de los dos componentes principales (PC1 versus PC2) empleando cinco elementos traza (Rb, Sr, Y, Zr y Nb) de las muestras geológicas de referencia. Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa.

Tabla 1. Comparación entre los resultados del presente estudio y el de Cobean (2002) para los elementos Mn, Fe, Zn, Th, Rb, Sr y Zr (valores en ppm).

Pico de Orizaba				Pico de Orizaba			
Presente estudio (n = 20)				Cobean 2002 (n = 58)			
Elemento	Promedio	Desviación estándar	Desviación estándar %	Elemento	Promedio	Desviación estándar	Desviación estándar %
Mn	624,915	31,879	5,101	Mn	554,844	19,844	3,577
Fe	4272,647	177,973	4,165	Fe	3558,709	111,737	3,14
Zn	28,055	3,243	11,559	Zn	24,642	2,73	11,079
Th	6,801	1,01	14,863	Th	6,246	0,222	3,552
Rb	107,029	1,937	1,81	Rb	100,097	1,84	1,839
Sr	25,913	1,975	7,622	Sr	23,982	8,73	36,4
Zr	62,511	2,015	3,223	Zr	32,344	7,353	22,733

Otumba (Soltepec)				Otumba (Soltepec)			
Presente estudio (n = 20)				Cobean 2002 (n = 47)			
Elemento	Promedio	Desviación estándar	Desviación estándar %	Elemento	Promedio	Desviación estándar	Desviación estándar %
Mn	411,489	36,413	8,849	Mn	379,979	12,722	3,348
Fe	8652,17	353,461	4,085	Fe	8667,602	146,465	1,69
Zn	43,467	3,103	7,14	Zn	39,181	1,166	2,977
Th	10,878	1,061	9,76	Th	10,386	0,145	1,392
Rb	120,156	3,394	2,824	Rb	118,088	2,654	2,248
Sr	114,882	4,371	3,805	Sr	128,297	8,537	6,654
Zr	133,901	4,143	3,094	Zr	138,236	6,749	4,882

sistema de Otumba que no estuvo representado en la obsidiana arqueológica.

Para corroborar estos resultados se realizó otro análisis estadístico del tipo análisis de

conglomerados (AC) empleando el algoritmo *Paired Group* (UPGMA) y el índice de similitud euclidiano, con la finalidad de establecer con mayor confianza la asignación a un grupo

Tabla 2. Resumen de fuentes identificadas por estrato (las capas II-III corresponden a la fase Atlapulco y el Estrato IV corresponde a la fase Playa).

Fuente\Capa-Nivel	IIN2	IIIN1	IIIN2	IV-AN1	IV-BN1	IV-BN2	IV-BN3	IV-BN4	Total
Otumba-Soltepec	9	13	49	24	14	9	7	8	133
Otumba-C. Ixtepec					1	3		1	5
Sierra de las Navajas			1	3					4
<b>Total</b>	9	13	50	27	15	12	7	9	142

composicional o yacimiento en particular. Los resultados confirmaron los obtenidos por el estudio de ACP y AC, fueron validados mediante un análisis discriminante (AD), el cual clasifica los datos, asignando cada punto al grupo que da una distancia mínima de Mahalanobis a la media del grupo (Figura 7). Las distancias de Mahalanobis se calculan a partir de la matriz de covarianza dentro del grupo asignado, lo que proporciona un clasificador discriminante lineal. Las asignaciones de grupo dadas y estimadas se enumeran para cada muestra (véase la Tabla suplementaria 1). Además, la asignación al grupo se valida mediante un procedimiento de validación cruzada (*jackknifing*).

### Conclusiones

#### *El sistema de Otumba y su relevancia para las sociedades precerámicas*

Aunque la zona de afloramientos de obsidiana en Otumba ha sido descrita geológicamente desde hace casi un siglo (Díaz y Lozano 1922; Granados et al. 1991; Mooser 1968), aún no se conoce con precisión cómo están distribuidos los yacimientos de obsidiana geológicamente relacionados en la región de Otumba (Cobean 2002). La geología de esta área está formada por tobas y lavas fenobasálticas de más de 700 mil años del

grupo Chichinautzin, mientras que el vidrio volcánico parece ser el producto de erupciones del Cuaternario de dos volcanes inactivos, el Cerro Soltepec y el Cerro Cuello (Nieto y López 1990).

Los estudios de afloramientos, talleres y minas en el área (Charlton y Spence 1982; Cobean 2002; Nieto y López 1990) han centrado su atención en los afloramientos alrededor del Volcán Soltepec y las cañadas que cortan los derrames, como las barrancas de los Iztetes y El Salto, en las cuales se localizan nódulos que son arrastrados hacia los arroyos tributarios del Río San Juan pudiendo llegar hasta Teotihuacán, a más de 15 km río abajo (Cobean 2002). Sin embargo, los yacimientos de Cerro Ixtepec y Malpaís no han tenido un estudio detallado y se conocen sólo descripciones generales de ellos (Argote-Espino et al. 2010; Cobean 2002; Mora 1981).

Si bien es cierto que la obsidiana del área de Otumba ha sido considerada en análisis visuales como una sola fuente, estudios más detallados sugieren dos (Pastrana 2007) o tres yacimientos distintos (Cobean 2002). Para nuestro estudio retomamos la propuesta de Cobean (2002), que distingue al menos tres localidades: Otumba (aquí mencionada como Buenavista-Soltepec, pero también citada en la literatura simplemente como Soltepec o

Tabla 3. Comparativa de la procedencia de obsidiana entre Soconusco y la Cuenca de México.

Sitio (período)	Distancia de la fuente (km)	Porcentaje de cada fuente por período
Chantuto	Tajumulco (100)	72,0
(Fase Chantuto)	El Chayal (270)	28,0
Vuelta Limón	Tajumulco (100)	93,0
(Fase Chantuto)	San Martín Jilotepeque (210)	3,0
San Gregorio Atlapulco	Soltepec-Otumba (60)	89,0
(Fase Playa)	Cerro Ixtepec-Otumba (65)	7,0
	Pachuca (110)	4,0
(Fase Atlapulco)	Soltepec-Otumba (60)	98,6
	Pachuca (110)	1,3

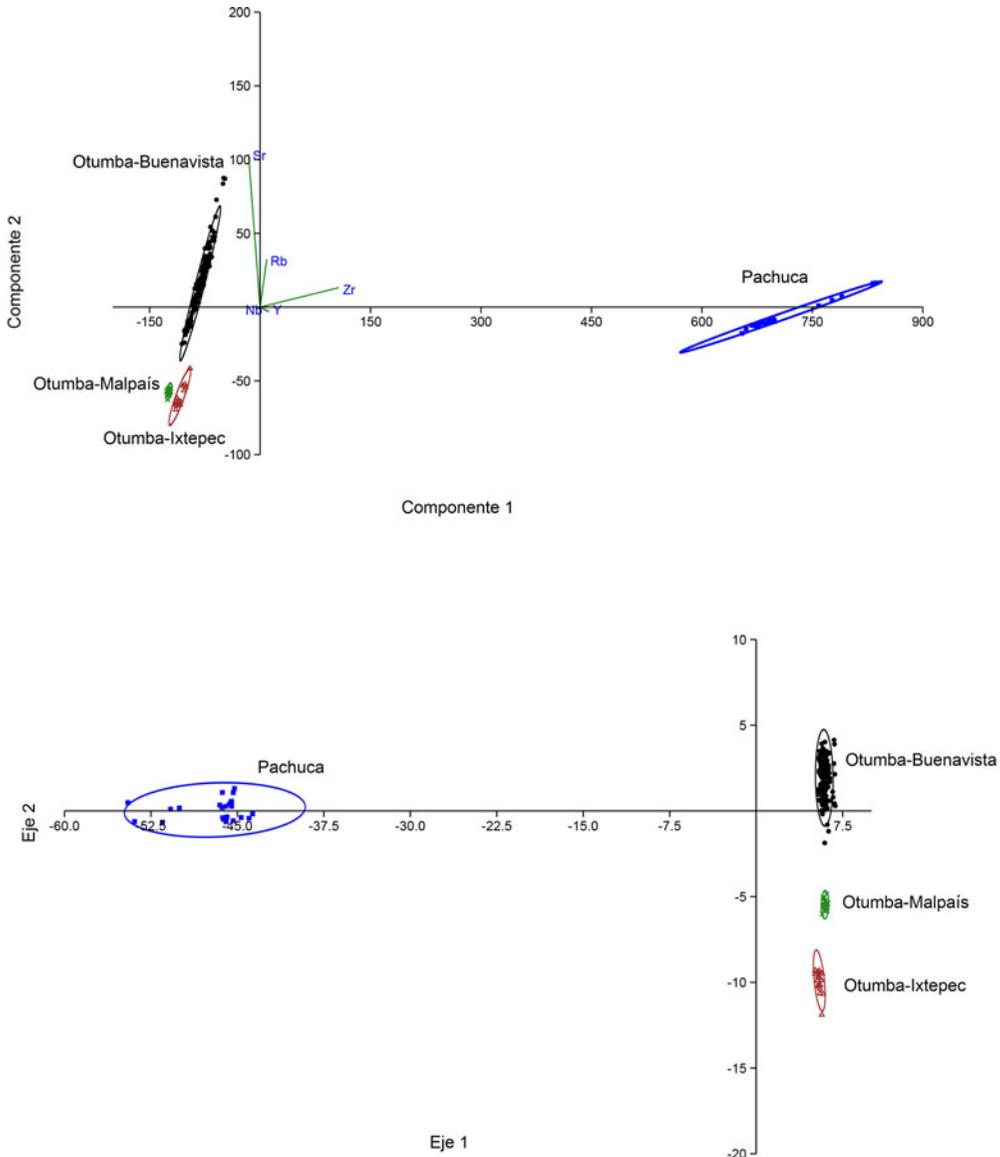


Figura 7. Gráfica del análisis de componentes principales, mostrando los dos primeros componentes (arriba); y gráfico de los dos primeros ejes del análisis discriminante (abajo) de los yacimientos de Otumba y Pachuca. Ambos incluyen tanto las muestras geológicas como las arqueológicas (Malpaís no está representado en los artefactos arqueológicos). Las elipses representan el 95% de confianza. Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa.

Barranca de los Estetes), además de los yacimientos de Malpaís y Cerro Ixtepec (nombrado Cerro Ixtete en el estudio de Cobean), cuyas localidades fueron muestreadas y analizadas para el presente estudio (Figura 8). Esta distinción de tres fuentes con distinta composición elemental es corroborada en el estudio efectuado por Argote-Espino y colaboradores

(2013) mediante ICP-MS, quienes concluyen que, de cinco localidades distintas, sólo se pueden identificar tres grupos composicionales. Nuestro análisis mediante pXRF también identificó tres yacimientos cuya composición geoquímica es claramente distinguible, sea mediante análisis de componentes principales o graficando únicamente itrio versus estroncio.

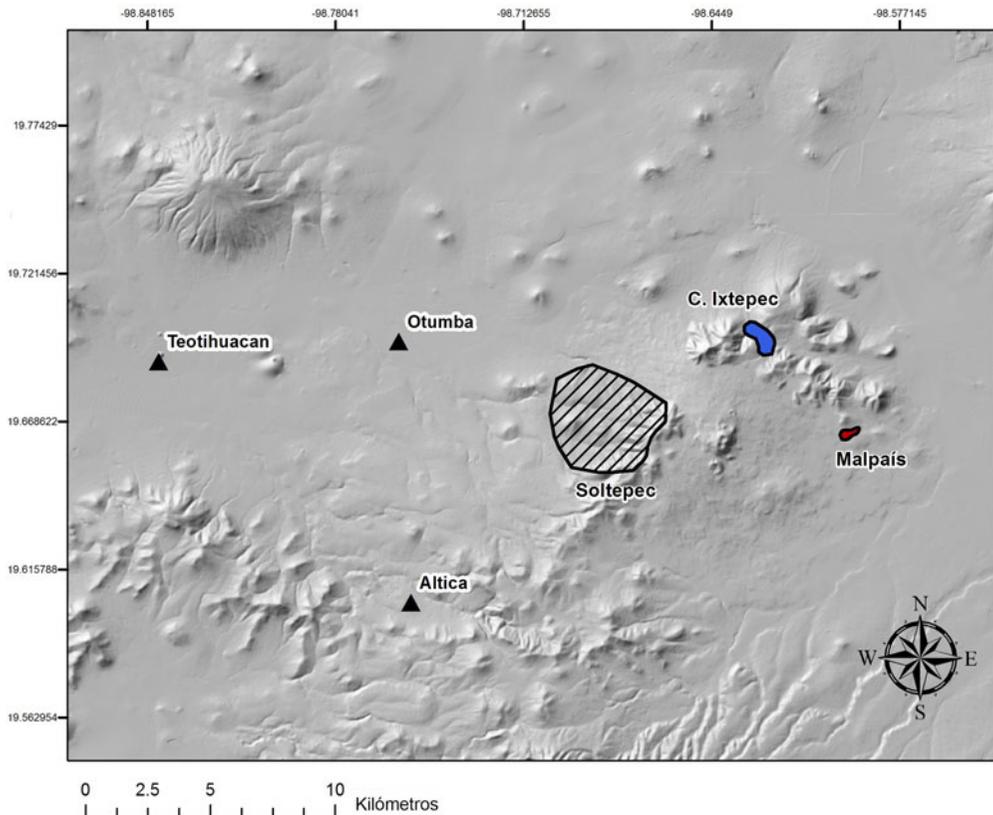


Figura 8. Subfuentes de obsidiana del sistema de yacimientos de Otumba y sitios arqueológicos cercanos (triángulos). Elaborado por Guillermo Acosta Ochoa.

Un elemento para destacar es que la obsidiana del área de Buenavista-Soltepec es de uso predominante durante el período precerámico en San Gregorio Atlapulco, y sugiere que este yacimiento fue empleado de manera intensa por las primeras aldeas precerámicas de la cuenca, al menos desde el sexto milenio antes de nuestra era. Esto puede deberse no sólo a que es la fuente más cercana a los sitios lacustres de la Cuenca de México, sino también debido a la accesibilidad del material al ser un afloramiento superficial y el más extenso del sistema de Otumba. Por otro lado, en las tres localidades del sistema de Otumba (Soltepec/Cerro Ixtepec/Malpaís) los afloramientos son superficiales y, a menos que se busquen bloques grandes de alta calidad para la manufactura de navajillas prismáticas, la materia prima se encuentra disponible a nivel superficial, ya sea como filones o como nódulos de menor tamaño disponibles en forma de cantos rodados en los arroyos cercanos a las fuentes.

Otro aspecto que debe explicarse es la ausencia en San Gregorio de obsidiana de la subfuente de Malpaís, a pesar de ser una materia prima de buena calidad, de color y textura idénticos a Cerro Ixtepec y con ausencia de inclusiones en la mayor parte del material, lo que la hace un excelente material para la talla bifacial (Cobean 2002). La explicación más plausible hasta el momento es que los materiales del yacimiento de Malpaís se erosionan hacia la cuenca de Apam, y con ello, hacia la vertiente del Golfo, a diferencia de los materiales de Soltepec y Cerro Ixtepec, los cuales son arrastrados hacia la Cuenca de México vía el Río San Juan. Lo anterior explicaría por qué no fueron recolectados por los grupos precerámicos de la Cuenca de México. En el caso de la obsidiana verde de Pachuca, su utilización también fue muy limitada; esto puede deberse a que existe una mayor dificultad en su obtención, pues la fuente está casi al doble de distancia que los materiales

de Otumba, y a mayores profundidades por lo que su erosión y dispersión superficial también debió ser limitada. A diferencia de la obsidiana del sistema de Otumba, en la Sierra de la Navajas los flujos suelen estar a profundidades de hasta 10 m, por lo que la minería fue una actividad importante para su explotación durante el Clásico y Posclásico (Pastrana 1998, 2007). Sin embargo, es poco probable que para el período Preclásico se haya efectuado algún tipo de minería para la obtención de obsidiana verde, por lo que consideramos más probable que la obsidiana se obtuviera de forma directa sobre afloramientos superficiales cortados por ríos o arroyos y en barrancas, de manera similar a la obtención de obsidiana de los yacimientos de Otumba.

#### *Intercambio y abastecimiento de obsidianas durante el Holoceno medio en la Cuenca de México*

Un objetivo importante de este estudio fue definir la procedencia de la obsidiana utilizada durante las fases Playa y Atlapulco en el sitio de San Gregorio; sin embargo, determinar la forma particular en la que llegó esta materia prima al sitio es otra historia, pues como ha sido planteado por Nelson y Clark (1990), no basta con conocer los bienes y rutas de intercambio, sino también entender los agentes que intervienen en el intercambio y las formas de organización sociopolítica que los caracteriza. En este sentido reconocemos la importancia de asumir la propuesta sustantivista de Polanyi (1975, 1976) quien sugiere que a distintas formas de organización social se corresponden distintos mecanismos de intercambio, los cuales son definidos como un método para adquirir bienes que no están disponibles local o temporalmente, y a partir del cual dos individuos, grupos o comunidades interactúan para adquirirlos (Polanyi 1975). Esta propuesta ha sido recuperada en arqueología por distintos autores (Clark y Lee 1990; Nelson and Clark 1990; Renfrew 1977; Zeitlin 1979), quienes sugieren que el intercambio observado en sociedades jerarquizadas de períodos más tardíos no es aplicable a las comunidades del Arcaico e inicios del Formativo.

De esta manera, para las sociedades igualitarias —denominadas en la antropología

neoevolucionista como “bandas” o “tribus”— el intercambio se daría bajo una forma extendida de reciprocidad (Bate 1986; Polanyi 1975). Zeitlin (1979) considera dos formas de intercambio entre sociedades igualitarias: (a) la reciprocidad general, realizada al interior de una comunidad o una pequeña región para intercambiar instrumentos o alimentos locales, reforzando los lazos comunitarios; y (b) la reciprocidad balanceada que, aunque es similar a la anterior y a falta de instituciones especializadas, se llevaría a largas distancias por cada unidad doméstica con el fin de procurar sus propias necesidades, por lo que es de esperarse que arqueológicamente se observen diferentes fuentes de aprovisionamiento dentro de las unidades domésticas de un sitio, o entre distintos sitios en una misma región (Nelson y Clark 1990; Pires-Ferreira 1975). Este último caso se observa en la costa de Chiapas para los sitios del Arcaico, pues mientras que en los sitios de Tlacuachero, Campón y Zapotillo, la obsidiana procede de Tajumulco y El Chayal, en Vuelta Limón las fuentes son Tajumulco y San Martín Jilotepeque (Nelson y Voorhies 1980; Voorhies 2004).

Otro aspecto importante para evaluar los sistemas de intercambio de la obsidiana es el enfoque tecnológico. Este enfoque sugiere que, para determinar la manera en la que la obsidiana es transportada a un sitio, es necesario conocer cómo los artefactos en un sitio dado fueron hechos, evaluando las técnicas de manufactura y su *débitage* y comparándolos con experimentos de replicación (Clark 1988; Clark y Lee 1990; Nelson y Clark 1990). El análisis tecnológico de los artefactos de San Gregorio Atlapulco (García 2018) permitió realizar inferencias más allá de los supuestos de índole económica impuestos por la cercanía o lejanía de un yacimiento. Por ejemplo, Nelson y Voorhies (1980) sugieren que, en el caso de los sitios arcaicos de la costa de Chiapas, el abastecimiento de la obsidiana del yacimiento de Tajumulco (a 100 km) pudo realizarse por los propios habitantes de Chantuto, mientras que la obsidiana de El Chayal (a 270 km) debió obtenerse mediante intercambio a larga distancia. Clark y Lee (2007) niegan este argumento y plantean que, de ser así, las comunidades costeras debieron obtener materia prima con facilidad y sin

modificaciones directamente del yacimiento; en cambio, la obsidiana de Tajumulco es escasa (0,26 gramos/m<sup>3</sup>), de tamaño minúsculo y carente de córtex. Clark y Lee (2007:175) consideran que, “if these archaic communities procured their own from the Tajumulco source we would expect to see greater quantities of obsidian, larger pieces, and higher cortex ratios.”

Esto último es coincidente con lo observado para el período Precerámico en San Gregorio Atlapulco, si consideramos la notable ausencia de córtex en los artefactos de obsidiana (de un total de 142 artefactos clasificados en los niveles precerámicos del sitio, ninguno presenta córtex), por lo que la posibilidad de que la obtención del material haya sido de manera directa por los habitantes de San Gregorio, trayendo la materia prima desde Otumba, no parece viable. El escenario anterior implica la posibilidad de que la obsidiana haya sido obtenida mediante intercambio con las comunidades cercanas a los yacimientos, tanto de Otumba como aquellos más alejados, como Pachuca.

Para obtener obsidiana de yacimientos a larga distancia, las unidades domésticas no necesariamente tuvieron que trasladarse grandes distancias, pues como lo han propuesto Clark y Lee (1990, 2007), un sistema del tipo “*trade friends*”, como el observado en los aborígenes australianos, es plausible (McCarthy 1939a, 1939b, 1939c). Este sistema no implica trasladarse grandes distancias por parte de los agentes, sino que los objetos son intercambiados de mano en mano en una red de socios intermedios permitiendo que los objetos se trasladen cientos de millas “*down the line*”. En este proceso, el acto de intercambiar puede ser más importante que el material intercambiado (Clark y Lee 2007), lo cual coincide con los datos arqueológicos, al menos para las fases Chantuto de Chiapas y Playa I de la Cuenca de México, pues la obsidiana se presenta en pequeñas piezas y en muy bajas cantidades. Paulatinamente, la obsidiana cobró mayor importancia durante el Formativo temprano en las tierras bajas de Mesoamérica (Hirth et al. 2013), mientras que en el sur de la Cuenca de México, desde la fase Atlapulco (4500-3500 aC), la obsidiana rebasa en importancia al basalto como materia prima para la talla de artefactos (Acosta et al. 2021). Así, conforme las comunidades se

volvieron más sedentarias y la territorialidad más marcada, la posibilidad de conflictos intercomunitarios pudo aumentar, por lo que el intercambio ritualizado debió constituirse en un sistema para disminuir la tensión entre comunidades vecinas; y como ha sido registrado en estudios etnográficos clásicos (Mauss 2009; McCarthy 1939a, 1939b, 1939c; Sahlins 1965, 1972) los intercambios se convierten en tratados de paz y refuerzan los sistemas de alianzas entre comunidades tribales (Acosta 2017).

Por otro lado, la obtención de la obsidiana de las fuentes de aprovisionamiento no necesitó de técnicas especializadas ni una organización social compleja. A diferencia de las sociedades más tardías, como la teotihuacana o la mexicana, que debieron implementar técnicas de minería para obtener grandes bloques de obsidiana de mayor calidad para la manufactura de artefactos especializados como las navajillas prismáticas, la talla bipolar para la manufactura de artefactos expeditivos (*nodule-smashing artifacts*) puede realizarse con pequeños nódulos de obsidiana de menor calidad como la que puede encontrarse en los afloramientos superficiales de Malpaís y Cerro Ixtepec, o a manera de cantos rodados en las barrancas de los Ixtetes y El Salto en el área de Soltepec, por lo que la obtención de obsidiana en este período temprano simplemente implicó una ampliación en la actividad de recolección. Esta forma de aprovisionamiento debió continuarse a inicios del Formativo, como se reporta para la fase Ojochí de San Lorenzo (1800-1600 aC) en la Costa del Golfo, donde el 92% de la obsidiana procede del yacimiento de Guadalupe Victoria, al oeste del Pico de Orizaba. En esta fuente, de forma similar a los yacimientos de Otumba, la obsidiana se presenta como nódulos pequeños e irregulares disponibles en barrancas y arroyos en un radio de 20 km alrededor de la moderna ciudad de Guadalupe Victoria (Hirth et al. 2013).

Para el caso de San Gregorio Atlapulco, la forma en la que se intercambiaba la obsidiana parece haber sido en forma de lascas de un tamaño no mayor a 6 cm, obtenidas por percusión directa con percutor duro. Estas lascas eran reducidas principalmente mediante técnica bipolar en el sitio y presentan las mismas características y morfología de la talla bipolar predominante en el área mesoamericana hasta inicios del

período Formativo (Boksenbaum 1980; Clark 1988; Clark y Lee 1990). La escasa presencia de navajillas prismáticas para este período indica que, aunque esta técnica era conocida, no fue utilizada de manera común. La talla bifacial era exclusivamente para manufacturar puntas de proyectil. Para el caso de los raspadores, se prefería emplear calcedonia local.

Comparando los resultados de este estudio con los análisis de procedencia de sitios precerámicos de la costa de Chiapas podemos encontrar algunas similitudes, pero también diferencias particulares. El primer rasgo que destaca es la similitud que a nivel tecnológico se observa en los sitios del Arcaico de la Cuenca de México con sus contemporáneos de la costa de Chiapas, pues ambas regiones emplean una tecnología lítica basada en la talla bipolar con la finalidad de obtener lascas de filo vivo empleadas generalmente sin retoque y con una presencia mínima de navajillas prismáticas de tamaño reducido. En la Cuenca de México también se observa la talla bifacial para la manufactura de puntas de proyectil triangulares con pedúnculo redondeado (Puntas Gary y Trinidad), comunes en otros sitios del Arcaico de Puebla y Oaxaca (Flannery y Marcus 1983; MacNeish et al. 1967).

Finalmente, es necesario ampliar nuestro conocimiento sobre el período Arcaico en la Cuenca de México y el papel que desempeñó la obsidiana y su intercambio en el desarrollo de la complejidad social en las comunidades lacustres del Holoceno medio, pues a diferencia de los sitios de la costa de Chiapas, donde el intercambio de obsidiana parece haber iniciado a finales del período Arcaico, hacia el 2200 aC (Clark y Lee 2007; Voorhies 2004), en el sur de la Cuenca de México se observa el intercambio de obsidiana desde al menos el período Playa I (ca. 6200 aC), mientras que a inicios del período Playa II (4500 aC) la obsidiana reemplaza definitivamente a las materias locales (basalto y calcedonia) como principal materia prima en la manufactura de artefactos líticos.

### *Perspectivas y futuras investigaciones*

Los estudios sobre procedencia e intercambio de obsidiana en el área mesoamericana han dejado en evidencia la importancia de este material para entender los procesos de interacción entre

las sociedades de la Cuenca de México y otras regiones (Boksenbaum et al. 1987; Hirth et al. 2013; Stoner et al. 2015). Sin embargo, este tipo de estudios se ha enfocado en períodos cerámicos, mientras que los estudios de análisis de procedencia para sitios del Arcaico son escasos, principalmente se han realizado en sitios costeros de Chiapas (Nelson y Voorhies 1980; Paris 2015; Voorhies 2004), donde el uso de la obsidiana se restringe al período más tardío de su historia (Chantuto B, ca. 3000-2000 aC).

En el caso de las comunidades lacustres de la Cuenca de México, sin embargo, la sustitución del uso de materiales locales (basalto y calcedonia) por obsidiana como materia prima en la manufactura de artefactos ocurre en el período Precerámico. En San Gregorio Atlapulco, hacia el 4200 aC se observa la sustitución de la materia prima local, cuyas fuentes se localizan a menos de 3 km de distancia, por la obsidiana exógena de Otumba y Pachuca, ubicadas entre 60 y 110 km de distancia.

El aumento sostenido en el uso de la obsidiana en el sitio de San Gregorio hacia el Precerámico tardío es coincidente con las observaciones de Niederberger (1976) para Zohapilco y puede sugerir no sólo la necesidad de obtener materias primas de mejor calidad una vez iniciado el proceso de sedentarización, sino también una mayor interacción entre las distintas comunidades de ese período, proceso que continuó y se intensificó durante el Formativo temprano y medio, como puede observarse en comunidades del valle de Teotihuacán (Carballo et al. 2007; Gazzola 2009; Healan 2019; Johnson y Hirth 2019; Stoner et al. 2015) y Coapexco en el Valle de Amecameca (Boksenbaum et al. 1987). Este último aspecto es el que merece mayor atención en investigaciones futuras, pues es innegable la importancia que la obsidiana tuvo como un bien que permitió el intercambio temprano entre comunidades de la Cuenca de México y otras regiones mesoamericanas. No debe descartarse la idea de que las redes de intercambio del Formativo temprano, como las observadas en San Lorenzo Tenochtitlan (Hirth et al. 2013) y Coapexco (Boksenbaum et al. 1987), sean la continuidad de un proceso iniciado por las comunidades del Arcaico del área mesoamericana y escasamente conocido hasta ahora.

*Agradecimientos.* Esta investigación ha sido financiada por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica-UNAM (Proyecto PAPIIT IN402622: Chinampas arqueológicas de Xochimilco. Patrimonio en riesgo) y por el Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto Conacyt 253664: Sedentarismo temprano y primeras comunidades agrarias en la Cuenca de México). Agradecemos a Berenice Jiménez González y Denisse Argote Espino los comentarios y sugerencias para mejorar la versión final de este artículo.

*Declaración de disponibilidad de datos.* Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles por el autor correspondiente, Guillermo Acosta Ochoa, previa solicitud del interesado.

*Conflicto de intereses.* Los autores declaran que no hay ningún conflicto de intereses.

*Material suplementario.* Para acceder al material suplementario que acompaña este artículo, visitar <https://doi.org/10.1017/laq.2022.17>.

Tabla suplementaria 1. Base de datos de las muestras analizadas. Las primeras cuatro columnas distinguen entre muestras geológicas o arqueológicas, sus asignaciones visuales, por análisis discriminante y la validación estadística. El resto de las columnas indican los valores de cada elemento en partes por millón.

## Referencias citadas

- Acosta, Guillermo  
2008 Antecedentes precerámicos de las sociedades del “Formativo” en el sureste de México. *Thule: Rivista italiana di studi americanistici* 22–25:101–120.  
2012 Ice Age Hunter-Gatherers and the Colonization of Mesoamerica. En *Oxford Handbook of Mesoamerican Archaeology*, editado por Deborah L. Nichols y Christopher A. Pool, pp. 129–140. Oxford University Press, Nueva York.  
2017 Early Agricultural Modes of Production in Mesoamerica: New Insights from Southern and Central Mexico. En *Modes of Production and Archaeology*, editado por Robert M. Rosenswig y Jeremy J. Cunningham, pp. 75–98. University Press of Florida, Gainesville.
- Acosta, Guillermo, Emily McClung y Joaquin Arroyo-Cabrales  
2021 The Lacustrine Pre-ceramic Cultures in the Basin of Mexico: Recent Contributions. En *Pre-ceramic Mesoamerica*, editado por Jon C. Lohse, Aleksander Borejsza y Arthur A. Joyce, pp. 278–303. Routledge, Londres.
- Argote-Espino, Denisse, José Solé, Pedro López-García y Oswaldo Sterpone  
2010 Análisis composicional de seis yacimientos de obsidiana del centro de México y su clasificación con DBSCAN. *Arqueología* 2:198–216.  
2013 Geochemical Characterisation of Otumba Obsidian Sub-Sources (Central Mexico) by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise Statistical Analysis. *Open Journal of Archaeometry* 1(18):85–88.
- Ávila, Raúl  
1995 *Excavaciones arqueológicas en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco*. Informe Técnico. Dirección de Salvamento Arqueológico del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Bate, Luis F.  
1986 El modo de producción cazador recolector o la economía del salvajismo. *Boletín de Antropología Americana* 13:5–31.
- Boksenbaum, Martin W.  
1980 Basic Mesoamerican Stone-Working: Nodule Smashing? *Lithic Technology* 9:12–26.
- Boksenbaum, Martin W., Paul Tolstoy, Garman Harbottle, Kimberlin Jerome y Mary Nevens  
1987 Obsidian Industries and Cultural Evolution in the Basin of Mexico before 500 BC. *Journal of Field Archaeology* 14:65–75.
- Bronk Ramsay, Christopher  
2005 OxCal v. 3.10. Recurso electrónico disponible en <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html>, accedido el 20 de enero de 2019.
- Carballo, David M., Jennifer Carballo y Hector Neff  
2007 Formative and Classic Period Obsidian Procurement in Central Mexico: A Compositional Study Using Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Latin American Antiquity* 18:27–43.
- Charlton, Thomas H. y Michael W. Spence  
1982 Obsidian Exploitation and Civilization in the Basin of Mexico. *Anthropology* 6:7–86.
- Clark, John  
1988 *The Lithic Artifacts of La Libertad, Chiapas, México: An Economic Perspective*. Papers of the New World Archaeological Foundation 52. Brigham Young University, Provo.
- Clark, John y Thomas Lee  
1990 Intercambio de obsidiana y las primeras economías públicas en Chiapas, México. En *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*, editado por Dolores Soto de Archavaleta, pp. 347–404. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.  
2007 The Changing Role of Obsidian Exchange in Central Chiapas. En *Archaeology, Art, and Ethnogenesis in Mesoamerican Prehistory: Papers in Honor of Gareth W. Lowe*, editado por Lynne S. Lowe y Mary E. Pye, pp. 109–140. Papers of the New World Archaeological Foundation 68. Brigham Young University, Provo.
- Cobean, Robert H.  
2002 *Un mundo de obsidiana: Minería y comercio de un vidrio volcánico en el México antiguo*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Díaz-Lozano, Enrique  
1922 Rocas y minerales del valle. En *La población del valle de Teotihuacan*, editado por Manuel Gamio, pp. 220–241. Dirección de Antropología, Secretaría de Agricultura y Fomento, Ciudad de México.
- Flannery, Kent y Joyce Marcus  
1983 *The Cloud People: The Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilizations*. Academic Press, Nueva York.
- Forster, Nicola y Peter Grave  
2012 Non-destructive pXRF Analysis of Museum-Curated Obsidian from the Near East. *Journal of Archaeological Science* 39:728–736.
- García, Víctor Hugo  
2018 Procedencia e intercambio de obsidiana en la Cuenca

- de México en el Holoceno medio (6000-4000 A.N.E.): El caso de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco. Tesis de maestría, Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Gazzola, Julie  
2009 Fuentes de abastecimiento de obsidiana en fases tempranas en Teotihuacán, México. *Arqueología* 41:47-63.
- Glascok, Michael D.  
2011 Comparison and Contrast between XRF and NAA: Used for Characterization of Obsidian Sources in Central Mexico. En *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, editado por M. Steven Shackley, pp. 161-192. Springer, Nueva York.
- Glascok, Michael D., Geoffrey Braswell y Robert Cobean  
1998 A Systematic Approach to Obsidian Source Characterization. En *Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory*, editado por M. Steven Shackley, pp. 15-65. Springer, Boston.
- Glascok, Michael D. y Jeffrey R. Ferguson  
2012 *Report on the Analysis of Obsidian Source Samples by Multiple Analytical Methods*. Archaeometry Lab, University of Missouri Research Reactor Center, Columbia. Documento electrónico, <https://www.xrf.guru/WorkshopVI/ObsidianDownload/files/Report%20to%20Bruce%20Kaiser.pdf>, accedido el 12 de abril de 2022.
- González, Carlos  
1996 Investigaciones arqueológicas en "El Japón": Sitio chinampero en Xochimilco. *Arqueología* 16:81-93.
- González, Silvia, José Concepción Jiménez-López, Robert Hedges, David Huddart, James C. Ohman, Alan Turner y José Antonio Pompa y Padilla  
2003 Earliest Humans in the Americas: New Evidence from México. *Journal of Human Evolution* 44:379-387.
- Granados, Daniel, Alejandro Pastrana, Ricardo Sánchez y Ricardo Martínez  
1991 Datos gearqueológicos del yacimiento de obsidiana de Otumba, México. *Expresión Antropológica* 2:31-39.
- Healan, Dan M.  
2019 Altica's Obsidian Industries and their Place in Early-Middle Formative Obsidian Exploitation in Central Mexico. *Ancient Mesoamerica* 30:279-294.
- Hirth, Kenneth, Ann Cyphers, Robert Cobean, Jason De León y Michael Glascok  
2013 Early Olmec Obsidian Trade and Economic Organization at San Lorenzo. *Journal of Archaeological Science* 40:2784-2798.
- Jack, Robert N. y Robert Heizer  
1968 "Finger-Printing" of Some Mesoamerican Obsidian Artifacts. *Contributions of the University of California Archaeological Research Facility* 5:81-100.
- Johnson, Nadia E. y Kenneth G. Hirth  
2019 Altica, Coapexco, and the Role of Middlemen in Formative Obsidian Exchange. *Ancient Mesoamerica* 30:295-310.
- Lechuga, Martha  
1977 Análisis de un elemento de la estructura económica azteca: La chinampa. Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- MacNeish, Richard, Irmgard Johnson y Antoinette Nelken-Terner  
1967 *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. University of Texas Press, Austin.
- MacNeish, Richard y Antoinette Nelken-Terner  
1983 The Pre-ceramic of Mesoamerica. *Journal of Field Archaeology* 10:71-84.
- Mauss, Marcel  
2009 *Ensayo sobre el don: Forma y función del intercambio en las sociedades arcaicas*. Traducido por Julia Bucci. Katz Editores, Buenos Aires.
- McCarthy, F. D.  
1939a "Trade" in Aboriginal Australia, and "Trade" Relationships with Torres Strait, New Guinea and Malaya. *Oceania* 9:405-438.  
1939b "Trade" in Aboriginal Australia, and "Trade" Relationships with Torres Strait, New Guinea and Malaya. *Oceania* 10:80-104.  
1939c "Trade" in Aboriginal Australia, and "Trade" Relationships with Torres Strait, New Guinea and Malaya. *Oceania* 10:171-195.
- McClung, Emily y Guillermo Acosta  
2015 Una ocupación del período de agricultura temprana en Xochimilco (CA. 4200-4000 A.N.E.). *Anales de Antropología* 49:299-315.
- Mooser, Federico  
1968 Geología, naturaleza y desarrollo del Valle de Teotihuacán. En *Materiales para la arqueología de Teotihuacán*, editado por José Luis Lorenzo, pp. 29-37. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Mora, Roberto  
1981 Yacimientos y talleres de obsidiana en el sureste del estado de Hidalgo. En *Yacimientos y talleres prehispánicos de obsidiana en el estado de Hidalgo*, editado por Margarita Gaxiola, pp. 21-38. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Nazaroff, Adam, Keith M. Prufer y Brandon L. Drake  
2010 Assessing the Applicability of Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for Obsidian Provenance Research in the Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science* 37:885-895.
- Nelson, Fred W. y John E. Clark  
1990 The Determination of Exchange Patterns in Prehistoric Mesoamerica. En *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*, editado por Dolores Soto de Arechavaleta, pp. 153-175. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Nelson, Fred W. y Barbara Voorhies  
1980 Trace Element Analysis of Obsidian Artifacts from Three Shell Midden Sites in the Littoral Zone, Chiapas, Mexico. *American Antiquity* 45:540-550.
- Niederberger, Christine  
1976 *Zohapilco: Cinco milenios de ocupación humana en un sitio lacustre de la Cuenca de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- 1979 Early Sedentary Economy in the Basin of Mexico. *Science* 203:131-142.
- Nieto, Rosalba y Fernando López  
1990 Los contextos arqueológicos en yacimientos de obsidiana. En *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*, editado por Dolores Soto de Arechavaleta, pp. 177-214. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Paris, Elizabeth  
2015 Early Use of Chipped Stone at Tlacuachero. En *An Archaic Mexican Shellmound and its Entombed Floors*, editado por Barbara Voorhies, pp. 127-134. Monograph 80. Cotsen Institute of Archaeology, University of California, Los Ángeles.
- Parsons, Jeffrey R., Elizabeth Brumfiel, Mary H. Parsons y David J. Wilson

- 1982 *Prehispanic Settlement Patterns in the Southern Valley of Mexico: The Chalco-Xochimilco Region*. Museum of Anthropology Memoirs 14. University of Michigan, Ann Arbor.
- Pastrana, Alejandro  
1987 Análisis microscópico de obsidiana. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos* 33(1):5–26.  
1998 *La explotación azteca de la obsidiana en la Sierra de las Navajas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.  
2002 *La distribución de la obsidiana de la Triple Alianza en la Cuenca de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pires-Ferreira, Jane W.  
1975 *Formative Mesoamerican Exchange Networks with Special Reference to the Valley of Oaxaca*. Museum of Anthropology Memoirs 7. University of Michigan, Ann Arbor.
- Polanyi, Karl  
1975 Traders and Trade. En *Ancient Civilization and Trade*, editado por Jeremy A. Sabloff y C. C. Lamberg-Karlovsky, pp. 133–154. University of New Mexico Press, Albuquerque.  
1976 El sistema económico como proceso institucionalizado. Traducido por Jesús Contreras. En *Antropología y economía*, editado por Maurice Godelier, pp. 155–178. Editorial Anagrama, Barcelona.
- Reimer, Paula J., Mike G. L. Baillie, Edouard Bard, Alex Bayliss, J. Warren Beck, Chanda J. H. Bertrand, Paul G. Blackwell, et al.  
2004 IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46:1029–1058.
- Renfrew, Colin  
1977 Alternative Models for Exchange and Spatial Distribution. En *Exchange Systems in Prehistory*, editado por Timothy Earle y Jonathon Ericson, pp. 71–90. Academic Press, Nueva York.
- Reuther, Joshua D., Natalia Slobodina, Jeff Rasic y Robert J. Speakman  
2011 Gaining Momentum: The Status of Obsidian Source Studies in Alaska: Implications for Understanding Regional Prehistory. En *From the Yenisei to the Yukon: Interpreting Lithic Assemblage Variability in Late Pleistocene/Early Holocene Beringia*, editado por Ted Goebel y Ian Buvit, pp. 270–286. Texas A&M University Press, College Station.
- Romano, Arturo  
1963 Breve informe de los hallazgos de San Vicente Chicoloapan. *Anales del Museo Nacional de México* 15:245–259.
- Sahlins, Marshall  
1965 On the Sociology of Primitive Exchange. En *The Relevance of Models in Social Anthropology*, editado por Michael Banton, pp. 123–236. Tavistock, Londres.  
1972 *Stone Age Economics*. Aldine de Gruyter, Nueva York.
- Sanders, William T., Jeffrey Parsons y Robert S. Santley  
1979 *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of Civilization*. Academic Press, Nueva York.
- Shackley, M. Steven  
2011 An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology. En *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, editado por M. Steven Shackley, pp. 7–14. Springer, Nueva York.
- Shugar, Aaron N. and Jennifer L. Mass  
2012 Introduction. En *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, editado por M. Steven Shackley, pp. 17–36. Springer, Nueva York.
- Speakman, Robert J.  
2012 *Evaluation of Bruker's Tracer Family Factory Obsidian Calibration for Handheld Portable XRF Studies of Obsidian*. Center for Applied Isotope Studies, University of Georgia. Prepared for Bruker, Kennewick, Washington. Documento electrónico, [https://www.voteglisman.com/fileadmin/user\\_upload/8-PDF-Docs/X-rayDiffraction\\_ElementalAnalysis/HH-XRF/LabReports/Bruker\\_Obsidian\\_Report.pdf](https://www.voteglisman.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/X-rayDiffraction_ElementalAnalysis/HH-XRF/LabReports/Bruker_Obsidian_Report.pdf), accedido el 2 de febrero de 2019.
- Speakman, Robert J. y M. Steven Shackley  
2013 Silo Science and Portable XRF in Archaeology: A Response to Frahm. *Journal of Archaeological Science* 40:1435–1443.
- Stoner, Wesley D., Deborah L. Nichols, Bridget A. Alex y Destiny L. Crider  
2015 The Emergence of Early–Middle Formative Exchange Patterns in Mesoamerica: A View from Altica in the Teotihuacan Valley. *Journal of Anthropological Archaeology* 39:19–35.
- Voorhies, Barbara  
2004 *Coastal Collectors in the Holocene: The Chantula People of Southwest Mexico*. University Press of Florida, Gainesville.
- Zeitlin, Robert N.  
1979 Prehistoric Long-Distance Exchange on the Southern Isthmus of Tehuantepec, Mexico. Tesis de doctorado, Department of Anthropology, Yale University, New Haven, Connecticut.

---

Submitted August 12, 2021; Revised November 5, 2021;  
Accepted February 9, 2022