

## Research Article

# La isla de Atitlán: un nuevo yacimiento de obsidiana en el Occidente de México

Ericka Sofía Blanco Morales<sup>a</sup> , Guillermo Acosta Ochoa<sup>b</sup> y Rodrigo Esparza López<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México 04510, México;

<sup>b</sup>Laboratorio de Prehistoria y Evolución, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México 04510, México y <sup>c</sup>Centro de Estudios Arqueológicos, El Colegio de Michoacán, AC, Cerro Nahuatzen 85, Fracc. Jardines del Cerro Grande, La Piedad, Michoacán 59379, México

## Resumen

Durante la época prehispánica, la obsidiana se caracterizó por ser una materia prima de primera necesidad para la elaboración de gran variedad de objetos. La tecnología de talla para la extracción de diversos artefactos fue una importante actividad económica. En el occidente de México, la obsidiana resultó un recurso fundamental debido a su abundancia y a la diversidad de yacimientos presentes. Sin embargo, no todos los vidrios volcánicos disponibles tienen las características idóneas para la talla especializada. En la región Valles, dentro de las cuencas centrales del estado de Jalisco, se encuentran dispersos nódulos de obsidiana, con un alto grado de inclusiones, que ha sido referida meramente como “obsidiana de baja calidad”. Hasta ahora, en pocas ocasiones se le ha dado la importancia debida en cuanto al estudio de su composición geoquímica, a pesar de que este sirva para contrastarlo con aquellas que sí fueron empleadas como materia prima. El siguiente trabajo busca establecer las características de la obsidiana disponible en el sitio Atitlán, ubicado en la antigua Cuenca de Magdalena, para compararla con los desechos de un espacio en el que son evidentes talleres especializados de talla intensiva para la extracción de láminas que sirvieron para elaborar piezas útiles. Entre los objetivos primordiales del artículo, es comparar sus particularidades con las de la obsidiana empleada en el proceso productivo proveniente del sitio La Joya. Gracias a esta investigación, demostramos que la obsidiana disponible en la isla no fue aprovechada debido al tamaño de los nódulos disponibles y al alto grado de porosidad e inclusiones.

## Abstract

During pre-Hispanic times, obsidian was an important raw material for the manufacture of a wide variety of objects throughout Mesoamerica. Lithic technology was highly developed, and the economic activities revolving around the extraction, manufacture, and trade of a wide range of obsidian artifacts had strategic importance. In western Mexico, obsidian was an abundant and indispensable resource, with numerous deposits present in the region. However, not all the volcanic glasses available have the ideal characteristics for specialized production. Local “low quality” obsidian is rarely given any attention by researchers, resulting in an absence of specific geochemical studies of this material. The aim of this article is to establish the characteristics of the obsidian available at the Atitlán site (the main obsidian workshop in the Magdalena Basin in central Jalisco) and to contrast the local raw materials with the obsidian used for intensive manufacturing, which came from the La Joya source (also in Jalisco). In this article, we argue that local obsidian was not used at Atitlán, as the size of its nodules, the high degree of porosity, and the presence of inclusions made it a less suitable material for production of artifacts.

**Keywords:** use of resources; obsidian deposits; extraction; provenance analysis; surface microscopy; Western Mexico; Jalisco

## Introducción

La obsidiana, al menos desde el período formativo, es probablemente el recurso mineral de mayor uso en la

manufactura de artefactos en Mesoamérica (Cobean 2002; Gaxiola y Clark 1989). La caracterización geoquímica e identificación de las fuentes de procedencia ha sido uno de los temas centrales de su estudio (Glascok et al. 1998). El método nos ha permitido tener ahora un mejor conocimiento de los procesos de extracción y minería, intercambio, uso productivo o simbólico y, eventualmente, descarte de los artefactos o desechos de producción (Darras 1999; Esparza López et al. 2017; Hernández y Healan 2008; Pastrana 1998). En este sentido, en Jalisco, dentro del área

Correspondence author: Ericka Sofía Blanco Morales, email: [erickasofia-blanco@gmail.com](mailto:erickasofia-blanco@gmail.com)

**Cite this article:** Blanco Morales, Ericka Sofía, Guillermo Acosta Ochoa, y Rodrigo Esparza López (2023) La isla de Atitlán: un nuevo yacimiento de obsidiana en el Occidente de México. *Ancient Mesoamerica* 34, 627–639. <https://doi.org/10.1017/S0956536122000153>

© The Author(s), 2022. Published by Cambridge University Press. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution and reproduction, provided the original article is properly cited.

que circunda el complejo volcánico de Tequila y la Cuenca de Magdalena, destacan en el actual municipio de Magdalena las minas para el aprovechamiento de la obsidiana, conocidas como La Joya, y en San Juanito de Escobedo, el sitio de procesamiento de talla, la isla de Atitlán (Figura 1).

Estudios recientes sobre la procedencia de la obsidiana de distintos sitios de la red Aztatlán (Calligaro y Grave 2015; Pierce 2021; Tenorio et al. 2015) han validado las observaciones iniciales de Weigand (Weigand y García de Weigand 1994; Weigand y Spence 1982; Weigand et al. 2004) sobre la importancia del aprovechamiento del yacimiento La Joya para el intercambio regional durante el período posclásico temprano, así como de las actividades de producción vistas en el extenso conjunto de talleres en la isla de Atitlán—también conocida como Las Cuevas—(Blanco Morales 2018). Sobre este último sitio, Weigand menciona la presencia de obsidiana “de baja calidad” para suponer que la obsidiana existente en la isla no fue empleada debido a la disponibilidad de obsidiana de La Joya, a la que califica como “de mayor calidad”, sin proporcionar mayores datos sobre éstas (Weigand y García de Weigand 1994). No obstante, muchas de las observaciones preliminares de la obsidiana de dicha cuenca se hicieron sobre identificaciones visuales (Cobean 2002); aunque recientemente se ha avanzado en la caracterización geoquímica de los yacimientos de obsidiana en Jalisco (Esparza López et al. 2017; Glascock et al. 2010), aún quedan veneros secundarios que no se han caracterizados elementalmente a pesar de que existe la posibilidad de haber sido aprovechados al menos de manera ocasional. Eso permite pensar que en los catálogos de análisis arqueométricos, estos yacimientos secundarios podrían permanecer erróneamente asignados como fuentes no identificadas. Con el ánimo de revalorar estas fuentes marginales y determinar las probables causas de su “pobre calidad”, llevamos a cabo la presente investigación.

### La isla de Atitlán: un espacio para la producción de instrumentos de obsidiana

Los habitantes isleños de la Cuenca de Magdalena priorizaron por cientos de años la obtención de láminas y lascas a partir de la talla de núcleos de obsidiana para manufacturar instrumentos que emplearon para cortar, raspar y raer (Blanco Morales 2018). Estas actividades se desarrollaron en un espacio dentro de la isla de Atitlán ahora llamado Conjunto Especializado de Producción y Desecho (CEP; Blanco Morales 2018, 2021; Blanco Morales y Pérez Martínez 2022). Su huella consiste en una amplia distribución y acumulación de innumerables residuos de talla, preformas y piezas terminadas que evidencian actividades humanas de producción, tanto sobre la superficie como en estratos anteriores, por lo que desde sus primeros estudios arqueológicos en la década de los ochenta del siglo veinte se lo ha referido como taller especializado de producción (Glascock et al. 2010; Spence y Weigand 1989; Weigand y García de Weigand 1996; Weigand y Spence 1982; Weigand et al. 2004). Las primeras inferencias sobre su origen narran que se trataba del desecho producto de actividades de

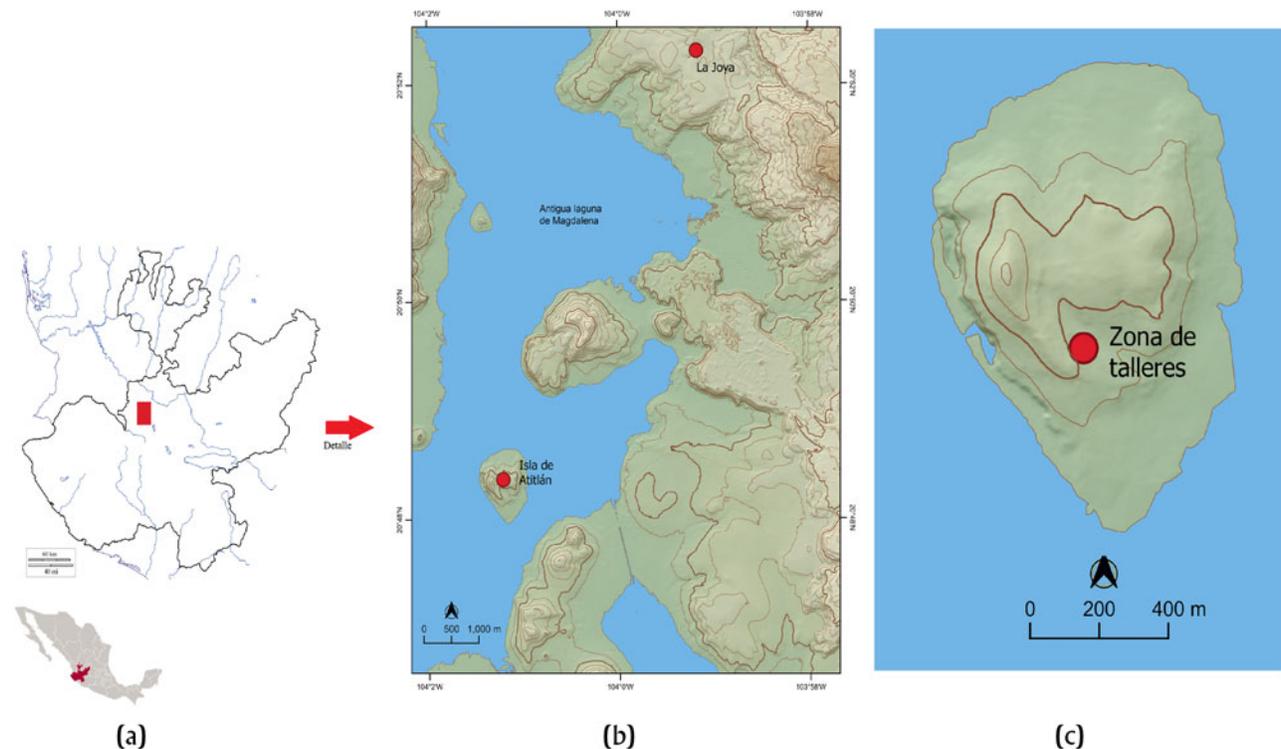
talla para la extracción de navajas y navajillas (Glascock et al. 2010; González et al. 2000; Spence y Weigand 1989; Weigand y García de Weigand 1996; Weigand et al. 2004). El argumento se acompañó con la confirmación que la obsidiana disponible en la isla no tenía las características necesarias para el nivel tecnológico de producción visto en aquel espacio, por lo que siempre quedó por sentado que la fuente de extracción de materia prima sucedió en un yacimiento externo (González et al. 2000; Spence y Weigand 1989; Weigand y García de Weigand 1996; Weigand et al. 2004).

Con estos antecedentes, en el año 2009 se inició una exploración cuyo objetivo es explicar el uso de los asentamientos lacustres en dicha cuenca bajo un enfoque económico con base en el aprovechamiento de espacios y recursos lacustres. Lo anterior ha implicado el reconocimiento de recursos, en su mayoría perecederos, cuya evidencia, por las condiciones climáticas semihúmedas del entorno, resulta prácticamente ciega al ojo humano. De tal suerte, se han aplicado métodos sistemáticos y de precisión que registran y analizan, tanto macroscópica como microscópicamente, las características, huellas de uso y residuos que testan las actividades humanas lacustres en los artefactos, ecofactos y biomarcadores.

Resultados de análisis recientes demostraron que no se trataba únicamente de un taller para la extracción de navajillas, sino que la muestra se conforma por una variada gama de formas monofaciales manufacturadas sobre los desprendimientos derivados de núcleos—láminas y lascas—tales como puntas, raspadores, raederas, buriles, entre otros, y que fueron empleados en el mismo lugar dentro de otro proceso de producción. Lo anterior se explicó gracias al análisis de huellas de uso con base microscópica para la identificación y registro de micropulidos y microresiduos (Van Gijn 2010), los cuales estaban presentes en los bordes de la mayoría de las piezas examinadas y corresponden a su empleo para el procesamiento de fibras y tallos semiblandos (Blanco Morales y Pérez Martínez 2022). En este sentido, si bien se manufacturaron instrumentos durante un largo período de tiempo, por lo menos a partir del 450 d.C. y hasta la llegada de los españoles, estos también fueron empleados en el mismo espacio dentro de otro u otros procesos de producción (Blanco Morales 2018; Blanco Morales y Pérez Martínez 2022).

### El entorno volcánico regional en la génesis del Espacio y los recursos minerales

Jalisco es el estado con mayor número de yacimientos de obsidiana reportados hasta el momento en México, con un total de 53 (Esparza López 2001; Glascock et al. 2010). La mayoría se localizan dentro de la región Valles, propiamente en las inmediaciones de la Cuenca de Magdalena en donde el complejo volcánico de Tequila es uno de los protagonistas naturales del entorno (Figura 1). Según los estudios de Lewis-Kenedi y sus colaboradores (2005), de él resultó la estructura principal “compuesta de rocas volcánicas de tipo calcoalcalinas, dacitas, andesitas y basaltos alcalinos”. El volcán de Tequila corresponde a un estratovolcán formado por la intercalación de lavas y cenizas de cuya actividad volcánica, de entre 1 millón y 200 mil años a.P., resultó



**Figura 1.** (a) Ubicación del área de estudio en el estado de Jalisco; (b) área de estudio en la Cuenca de Magdalena, Jalisco con ubicación de la isla de Atitlán y el yacimiento de obsidiana La Joya; (c) detalle de la isla de Atitlán y la zona de talleres. Equidistancia entre curvas de nivel a cada 20 m. Figura de Gerardo Jiménez Delgado.

el cono cinerítico compuesto por cenizas, dacitas y otros piroclastos a la que hemos hecho referencia como isla de Atitlán (Lewis Kenedi et al. 2005:396), al igual que los yacimientos del vidrio volcánico—obsidiana—que provienen de lavas ácidas de origen riolítico (Lewis Kenedi et al. 2005:395–397). Los últimos han sido definidos y diferenciados por la variabilidad de las tonalidades y colorimetrías de la obsidiana resultantes de su composición física y química (azul, verde opaco, verde vejiga, amarillo, blanco, rojizos, café, con vetas negras y, el más abundante, el color negro; Esparza López 2008:143). Sin embargo, cada vez se suman trabajos de clasificación y diferenciación composicional geoquímica (Esparza López et al. 2017; Glascock et al. 2010).

La relación ser humano-obsidiana en la región comienza desde tiempos prehistóricos. Los grupos cazadores-recolectores utilizaron como materia prima este vidrio para la manufactura de puntas de proyectil. Concretamente, tenemos el hallazgo de una punta Clovis proveniente de la Cuenca de Sayula (Lorenzo 1964) y dos puntas Folsom halladas en la región Valles, dentro del sitio arqueológico Guachimontones en contextos de reutilización (León et al. 2006). Es por eso que establecemos el uso de la obsidiana desde hace más de 10,000 años en lo que actualmente es el territorio del estado de Jalisco.

Durante la época prehispánica su explotación y comercio creció exponencialmente en muchas áreas de Mesoamérica (Hirth et al. 2013). En la región de estudio, hacia el año 500 a.C., fue de gran importancia para el desarrollo de la tradición Teuchitlán (entre los años 500 a.C. y 450 d.C.).

Los yacimientos como La Joya, El Pedernal-La Mora, Ahuisulco y San Juan de los Arcos fueron de los más utilizados durante este período, aunque recientes investigaciones señalan que no existió un control absoluto por parte de Guachimontones sobre los yacimientos, sino que estos fueron explotados por asentamientos cercanos que redistribuían el material extraído por medio de redes de comercio locales o panregionales (Darling 1998; Esparza López et al. 2017). Los análisis por activación neutrónica (NAA) y la fluorescencia de rayos X (XRF) demuestran que la obsidiana en la región Valles tuvo una distribución más allá de las fronteras geográficas de esta región. Existen evidencias de un comercio a larga distancia que abarca el noroeste y noreste de Aridoamérica (Hester et al. 2017), la región de la costa noroccidental de Mesoamérica (Tenorio et al. 2015), la zona del semidesierto cercanos a la frontera septentrional que cubre parte de los estados actuales de Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí, norte y noreste de Jalisco y sur de Tamaulipas (Darling 1998), la zona costera del Pacífico y la región de Tierra Caliente (Esparza López y Tenorio 2004; Esparza López et al. 2017).

En un principio había dos industrias líticas: una relacionada con la obtención de macrolascas o macronavajas—también referenciadas como macroláminas—que servían a su vez como preformas para la fabricación de raspadores, puntas de flecha y cuchillos, entre otros; y otra industria lítica relacionada con navajas por percusión, las cuales podrían usarse como cuchillos, puntas u otras formas.

El inicio de la extracción de navajillas por presión se estableció tardíamente en la región, posiblemente entre los años 400 y 600 d.C. Sin embargo, no está claro cuándo se empiezan a producir las navajillas prismáticas, ya que se tiene evidencia de su presencia en contextos cerrados de la tradición Teuchitlán, tales como los del sitio de Guachimontones (400 a.C.–450 d.C.); empero, lo que sí está demostrado es que su uso continuo sucederá después, y será evidente en la producción de núcleos con plataformas picoteadas y por la presencia de núcleos agotados por presión (Esparza López et al. 2017). Al final, la propagación de la producción de navajillas en la región será también un parteaguas en el comercio y el intercambio a larga distancia. Así, para el clásico tardío y el epiclásico, la nueva técnica catapultó la explotación de varios yacimientos, en especial los de La Joya, La Mora/Teuchitlán y Ahuisculco. La evidencia de esta explotación todavía está presente en las minas en donde se pueden identificar diferentes formas de extracción como pueden ser pozos, trincheras, socavones y talleres para la extracción de núcleos y preformas dentro del propio yacimiento (Mireles 2021; Weigand 1993). Las áreas de trabajo intensivo de talla para la obtención de láminas y navajillas también han sido identificadas, por ejemplo, en Atitlán (Spence y Weigand 1989; Weigand y Spence 1982), así como la zona Talleres aldeaña a Guachimontones (Soto de Arechavaleta 1982).

En resumen, el comercio de la obsidiana contribuyó, en gran medida, al auge de diferentes tradiciones culturales y su expansión por todo el occidente (Esparza López et al. 2017; Weigand et al. 2004). A partir de la tradición Teuchitlán, el uso de la obsidiana se mantuvo constante desde el clásico tardío y posclásico temprano (450/600–850/900 d.C.) hasta el posclásico tardío (1100–1500 d.C.), sobresaliendo la manufactura de navajillas prismáticas que se constituyó como el producto de intercambio por excelencia hasta la llegada de los españoles, por lo que las investigaciones de la región coinciden cuando la definen como una zona de comercio y prestigio para las sociedades que la habitaron (Esparza López 2004, 2009; Esparza López y Ponce 2005; Esparza López et al. 2017; Soto de Arechavaleta 1982; Spence y Weigand 1989; Weigand 1993; Weigand y García de Weigand 1994; Weigand y Spence 1982; Weigand et al. 2004).

### El análisis arqueométrico de la obsidiana de Atitlán para evaluar su composición y calidad

Como han apuntado Clark y Lee (1990), el estudio de la obsidiana como material arqueológico es de gran utilidad para la arqueología porque: (a) era un recurso escaso que debía 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 con 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, por lo que facilita las comparaciones diacrónicas y sincrónicas.

Por otro lado, en el último medio siglo los análisis de procedencia de la obsidiana mediante técnicas espectroscópicas se han convertido en un procedimiento común en el estudio de la interacción humana en arqueología. Además, se han utilizado las metodologías que requieren un instrumental costoso y altamente sofisticado como la activación neutrónica, la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE), la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), la espectrometría de masas con ablación láser acoplado inductivamente (LA-ICP-MS), etcétera.

En contraste, la fluorescencia de rayos X mediante sondas portátiles (pXRF) es particularmente útil, debido a que es un análisis confiable, no destructivo y de un costo relativamente bajo, que se utiliza de forma cada vez más amplia en la arqueología (Shugar y Mass 2012) y en los estudios de procedencia de la obsidiana, cuando se emplea una calibración empírica (Shackley 2011; Speakman y Shackley 2013). En este sentido, el empleo de pXRF para el análisis de procedencia de obsidianas ha crecido exponencialmente en los últimos años (Speakman y Shackley 2013).

Los análisis de microscopio electrónico de barrido (MEB-EDS), por su parte, son un instrumento destinado a estudiar estructuras atómicas y composición elemental, para obtener un espectro de elementos químicos de los cuales está formada la muestra. Los resultados se dan en porcentaje de peso atómico y en porcentaje de número de elementos de los cuales está formada la muestra analizada. El campo de aplicación se ha ido extendiendo y algunas aplicaciones actuales incluyen la caracterización morfológica y analítica superficial de materiales diversos, procesos de difusión, segregación, análisis de fallas, control de calidad, irregularidades de piezas fabricadas en cadena, etcétera. En nuestro caso, el análisis composicional mediante MEB-EDS es de menor utilidad debido a su baja sensibilidad a elementos traza; sin embargo, permite generar imágenes de alta resolución de la superficie en los materiales analizados y su alcance hasta los 600 mil aumentos (Frahm 2014). A continuación, describimos los detalles de ambas metodologías y sus resultados.

### Fluorescencia de rayos X (XRF) de dos yacimientos de Magdalena, Jalisco: isla de Atitlán y La Joya

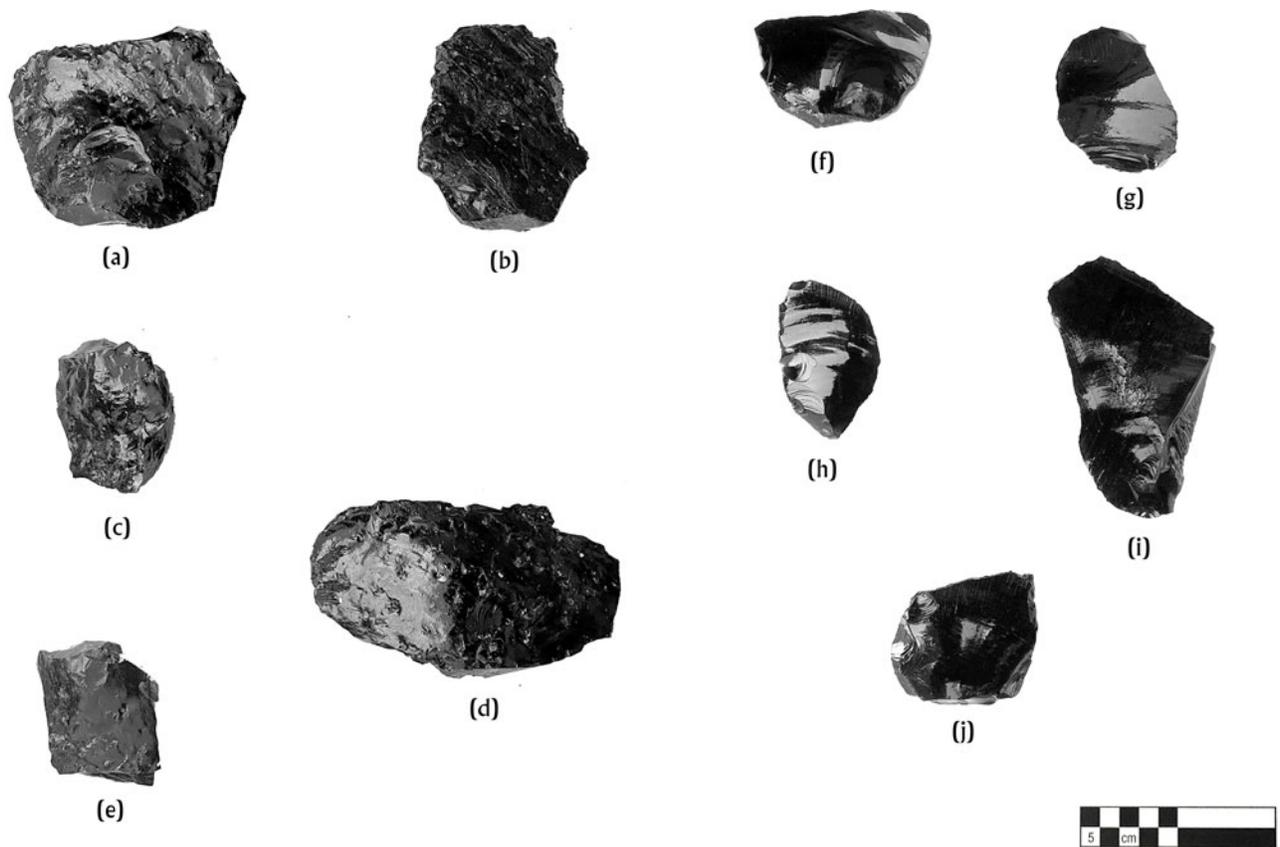
Para el presente estudio se recuperaron 14 muestras de la isla de Atitlán y otras 20 de La Joya (Figura 2). Las muestras de la isla de Atitlán se localizan como nódulos de tamaño menor a 30 cm, que sobresalen del afloramiento de dacita y escoria al centro y norte de la isla.

En el caso de la obsidiana de La Joya, las muestras fueron recuperadas de los afloramientos superficiales del yacimiento homónimo, localizado 7 km al norte de la isla de Atitlán, el cual constituyó una de las fuentes principales de obsidiana de la red Aztatlán durante el período del 850 al 1100 d.C., cuando representó la principal materia prima en la manufactura de artefactos del CEP.

En ambos casos, las muestras fueron recuperadas buscando obtener la mayor variación posible en cuanto a sus características macroscópicas (coloración, textura,



**Figura 2.** Muestreo en campo del yacimiento de obsidiana de La Joya. Fotografía por Gabriela García Ayala.



**Figura 3.** Lascas experimentales extraídas de núcleos (a–d) de la isla de Atitlán y (e–j) de La Joya. Fotografía y composición por Acosta Ochoa.

etcétera), intentando muestrear la mayor extensión de material. Consideramos que entre 20 y 30 muestras son suficientes para el estudio estadístico de cada yacimiento (Cobean 2002; Glascock et al. 1998). No obstante, la obsidiana de la isla de Atitlán es más bien escasa en los afloramientos de superficie y hasta el momento no se han localizado minas prehispánicas que sugieran una explotación sistemática; su aparición en la superficie de la isla es resultado de la erosión. Por lo anterior, sólo fue posible obtener 14 muestras viables de los afloramientos locales; sin embargo, los resultados del análisis de pXRF indican que las muestras tienen la mayor variabilidad geoquímica de los grupos composicionales del occidente de México.

Aunque la obsidiana dominante en ambos yacimientos es negra, en el yacimiento de La Joya se puede localizar ocasionalmente obsidiana *meca*, de color café-rojizo, mientras que el único color localizado en la isla de Atitlán es el negro. En ambos casos la superficie es lustrosa, ocasionalmente con algunas inclusiones de color blanco en La Joya, mientras que, en Atitlán, la obsidiana presenta mayor cantidad de inclusiones, lo cual permite distinguir entre ellas visualmente en la mayoría de los casos (Figura 3).

El estudio de fluorescencia se realizó en las 20 muestras de La Joya y las 14 de la isla de Atitlán, empleando superficies planas y libres de corteza. Se analizaron 10 de los elementos químicos más representativos en las muestras (Mn, Fe, Zn, Ga, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb) y se determinó la concentración de los elementos en partes por millón (ppm). Los análisis se llevaron a cabo en el Área de Prehistoria y Evolución Humana del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, usando un equipo portátil Bruker Tracer III SD, configurado a 40 keV, 25  $\mu$ A, con un filtro de 12 mil Al, 1 mil Ti, 6 mil Cu. Las muestras se irradiaron durante 200 segundos, conforme a la metodología establecida por Speakman (2012), y los resultados se determinaron mediante la calibración empírica instalada en el equipo (Glascock y Ferguson 2012), la cual permite obtener resultados comparables con otros métodos y cuyos alcances han sido validados previamente (Acosta y García 2022; Forster y Grave 2012; Nazaroff et al. 2010; Pierce 2021). Para evaluar la precisión y exactitud del equipo, se analizó el estándar SRM278 (Obsidian Rock) al inicio y al final de cada sesión de trabajo, y los resultados del análisis composicional de la obsidiana de la joya (Tabla 1) se compararon con estudios previos, evaluando los valores promedio y la desviación estándar, notando resultados similares a los reportados por otros laboratorios (Tabla 2; para una mayor descripción de la metodología empleada y la validación del equipo, véase Acosta y García 2022). Este tipo de comparativas ha permitido tener datos que sean comparables entre laboratorios, y tener un mayor control de los resultados obtenidos por equipos portátiles de fluorescencia y compararlos, incluso, con otros métodos de análisis (Martindale Johnson et al. 2021; Millhauser et al. 2015).

Una vez obtenida la composición elemental para ambos yacimientos de obsidiana (véase Material Suplementario), se realizó el estudio estadístico mediante análisis de componentes principales con software Past<sup>®</sup>, empleando

los 10 elementos para los que aplica la calibración empírica, y comparando los resultados con la base de datos de otros ocho yacimientos importantes de Jalisco, Michoacán y Guanajuato (Zinapécuaro, Ucareo, Ahuiscolco, Cerro Prieto, Zináparo, Varal, Abasolo, Pénjamo) ya analizados por el Laboratorio de Prehistoria y Evolución del IIA. Los resultados de la gráfica de los cinco principales elementos traza (Rb, Sr, Y, Zr, Nb) separan claramente las elipses de confianza (95 por ciento) de estos yacimientos con respecto del resto de los yacimientos del occidente de México (Figura 4). Con lo anterior, corroboramos que nuestros resultados permiten distinguir claramente la huella química de ambos yacimientos, con el fin de determinar con una elevada confianza la asignación de los materiales arqueológicos que se analizarán en un futuro próximo. Finalmente, el gráfico bivariado empleando zirconio y estroncio indica que estos dos elementos son suficientes para distinguir de forma clara entre los dos grupos composicionales (Figura 5), indicando que, no obstante la cercanía de ambos yacimientos (menos de 8 km), tienen una huella química claramente diferenciable.

#### *Análisis de microscopio electrónico de barrido (MEB-EDS) para evaluar la calidad de la obsidiana de la isla de Atitlán*

Para evaluar la estructura y composición de la obsidiana de la isla de Atitlán, con la finalidad de explicar el por qué aparentemente no fue empleada para la manufactura de artefactos, se llevó a cabo un estudio de la microtopografía superficial en lascas obtenidas de muestras de obsidiana de la isla de Atitlán, empleando tanto microscopio digital como microscopio electrónico de barrido. Asimismo, los resultados se compararon con la obsidiana de La Joya, así como con una muestra de obsidiana verde de Pachuca, conocida por su calidad para la manufactura de navajillas prismáticas.

Nuestra metodología se inició con la manufactura de lascas de ambos yacimientos, con la finalidad de evaluar su capacidad para elaborar artefactos mediante percusión directa. Aunque en ambos yacimientos fue posible manufacturar lascas de al menos 5 cm, la obsidiana de La Joya demostró una buena fractura concoidea, por lo que su calidad es óptima para la manufactura de artefactos sobre lasca o lámina, incluidas las navajillas prismáticas que fueron ampliamente distribuidas por la tradición Aztatlán (Pierce 2021). En el caso de la obsidiana de La Joya, aunque un porcentaje importante de artefactos presentaron clivaje—que es la propiedad de ciertas rocas o minerales de fracturarse sobre planos definidos, contraria a la fractura concoidea, que sigue la dirección de percusión o presión—incluso así fue posible obtener lascas de tamaño suficiente para hacer artefactos monofaciales o emplearlas como filo vivo.

La principal diferencia entre ambas obsidianas, considerando que su color, lustre y translucencia es similar, fue la apariencia irregular de la superficie en la obsidiana de Atitlán y la gran cantidad de inclusiones observables a simple vista. Por el contrario, la obsidiana de La Joya presenta baja cantidad de inclusiones o eventualmente nula presencia de éstas. Este último tipo de obsidiana sin inclusiones es la

**Tabla 1.** Estadística descriptiva del análisis pXRF (valores en ppm). Elaboración por Acosta Ochoa

	Mn	Fe	Zn	Ga	Th	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
La isla Atitlán ( <i>n</i> = 14)										
Min.	799,1500	25016,1500	74,5700	18,3600	6,9000	80,6700	157,1200	35,8900	725,6000	30,5700
Max.	1002,2900	28687,0200	96,6400	24,4900	10,0100	89,8200	220,2700	41,2800	855,0400	36,2700
Media	929,4207	27358,2000	85,2500	21,3300	8,2000	83,5200	194,1400	38,4800	797,7000	32,1100
Mediana	943,1550	27746,7900	83,8000	21,5900	8,2050	82,6200	195,1300	38,1300	797,9900	31,8700
Varianza	2676,4400	1223,2300	45,4400	2,3800	0,7300	7,1020	262,9800	2,6750	1041,4100	1,9820
Desviación estandar	51,7300	1105,9900	6,7400	1,5400	0,8500	2,6600	16,2160	1,6350	32,2700	1,4070
La Joya ( <i>n</i> = 20)										
Min.	561,3500	19975,2300	127,3100	19,4800	14,0300	157,2500	0,7200	71,4000	728,2900	59,4600
Max.	714,8500	21806,6600	154,3600	24,9900	17,4300	169,1800	2,1700	77,6700	778,2300	66,1100
Media	648,6900	20883,7800	140,5000	22,8400	15,9100	162,5400	1,4500	73,8700	751,5840	62,4300
Mediana	656,2500	20831,8600	140,1200	22,8700	16,3100	162,2900	1,3400	73,8200	753,2600	62,3100
Varianza	1706,9600	180439,2000	41,5000	1,7800	1,1790	8,6100	0,1700	3,3600	126,6700	2,5800
Desviación estandar	41,3100	424,7800	6,4400	1,3300	1,0800	2,9300	0,4100	1,8300	11,2550	1,6000

**Tabla 2.** Comparativa del análisis composicional XRF de la obsidiana de La Joya en el presente estudio y estudios previos (Glascock et al. 2010; Pierce 2015).

	Presente estudio (n = 20)	Glascock et al. 2010 (n = 23)	Pierce 2015 (n = 22)
Fe (%)	2,08 ± 0,09	1,93 ± 0,18	–
Zn (ppm)	140,00 ± 13,00	153,00 ± 15,00	–
Ga (ppm)	22,00 ± 3,00	20,00 ± 1,00	–
Th (ppm)	15,90 ± 1,00	–	–
Rb (ppm)	162,00 ± 5,00	156,00 ± 5,00	169,00 ± 41,00
Sr (ppm)	1,50 ± 1,00	5,00 ± 1,00	6,00 ± 2,00
Y (ppm)	73,00 ± 2,00	71,00 ± 13,00	75,00 ± 12,00
Zr (ppm)	751,00 ± 23,00	754,00 ± 38,00	772,00 ± 56,00
Nb (ppm)	62,00 ± 3,00	62,00 ± 7,00	67,00 ± 7,00
Mn (ppm)	648,00 ± 87,00	333,00 ± 76,00	–
Ti (ppm)	–	1070,00 ± 99,00	–
K (%)	–	3,48 ± 0,22	–

que aparentemente se buscaba en las minas prehispánicas de La Joya.

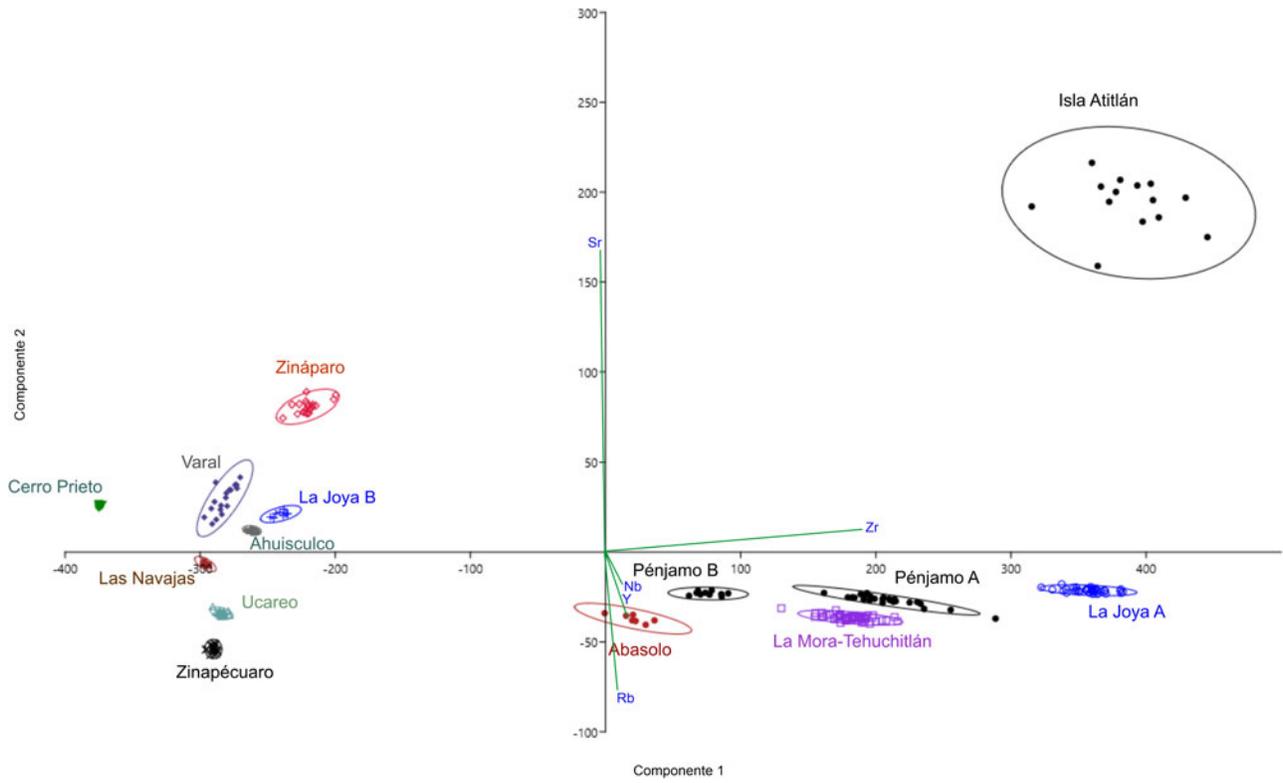
Para observar la microtopografía de la superficie y la morfología de las inclusiones, se analizó su superficie ventral de los ejemplares mediante un microscopio digital Dino-Lite; observando que, incluso a bajos aumentos (50× a 100×), en la obsidiana de la isla de Atitlán se pueden notar inclusiones blancas que, a simple vista, dan una apariencia áspera, irregular y craquelada, así como una apariencia sinuosa de los bandeados (Figura 6a–6d). Estas inclusiones se observan con la característica textura de la perlita (Figura 6b), formada por vidrios volcánicos de composición dacítica por hidratación y alteración (Mrázová y Gadas 2011). En el caso de la obsidiana de La Joya se pudo notar que es una obsidiana de fractura concoidea regular que tiende a crear planos limpios y regulares (Figura 6e) mientras que a 100× se pueden notar bandeados regulares y lineales (Figura 6f), al igual que inclusiones de menor tamaño (Figuras 6g y 6h).

Con la finalidad de obtener una imagen más detallada de la superficie de las obsidianas, las muestras se analizaron mediante microscopio electrónico de barrido (Jeol Neoscope 7000), tanto a bajos aumentos (35×) como en altos aumentos (100× a 200×). Mediante este análisis, se observa que la superficie de la obsidiana de la isla de Atitlán presenta inclusiones de perlita cuya composición es similar a la matriz vítrea, pero con más contenido de agua (Figuras 7a y 7b). Estas inclusiones hacen que las ondas de percusión de la superficie se desvíen y sean irregulares, generando cierto grado de clivaje y dando su característico aspecto áspero e irregular. Al realizar el mismo ejercicio con la principal obsidiana empleada en Atitlán para la manufactura de artefactos (obsidiana de La Joya), se observa que a pesar de tener inclusiones, éstas son relativamente escasas y con ondas de percusión

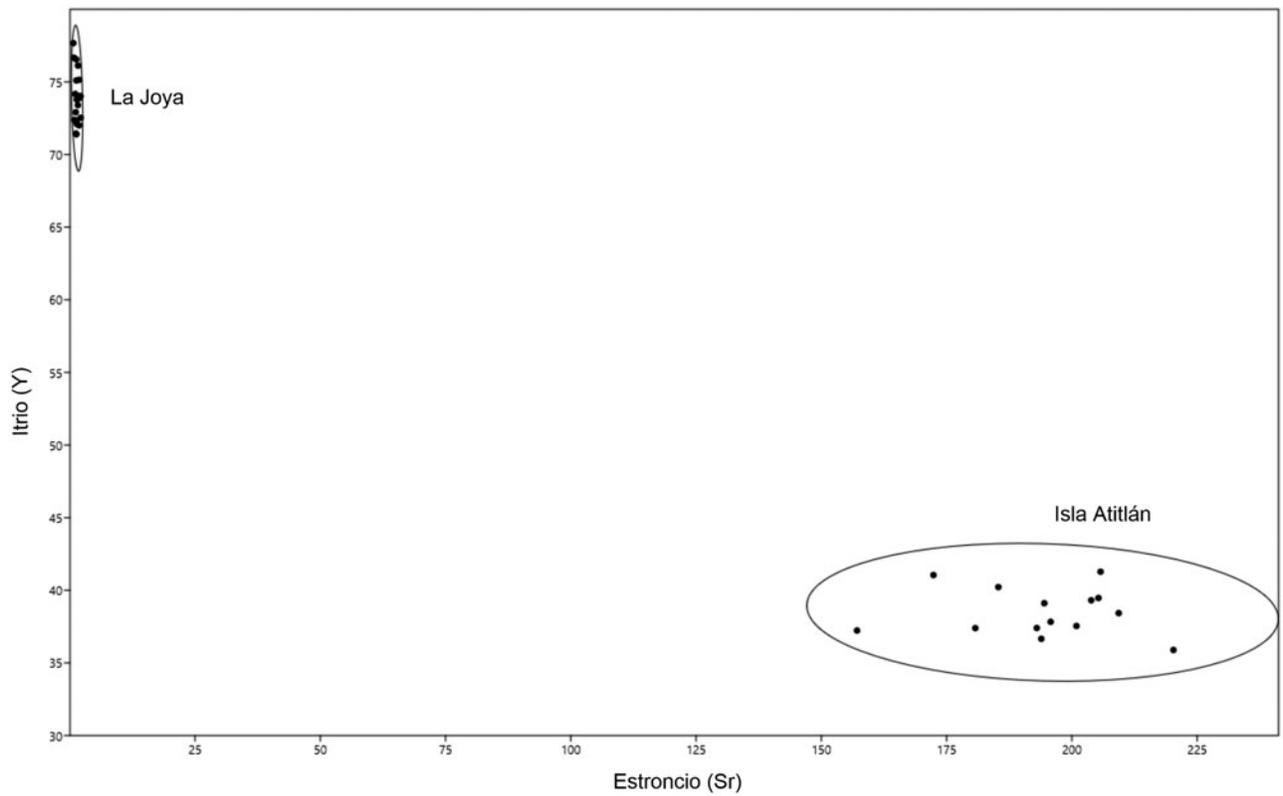
regulares (Figura 7c), identificamos que a pesar de tener inclusiones, éstas son relativamente escasas y con ondas de percusión regulares (Figura 7d). Por otro lado, si la comparamos con la superficie de una navajilla prismática de obsidiana verde de Pachuca, se nota claramente la diferencia en su regularidad, la práctica ausencia de inclusiones y el nulo clivaje (Figura 7e). En este último caso, para distinguir las inclusiones o impurezas en una obsidiana de alta calidad como la obsidiana verde, necesitamos aumentar a casi 200× la magnificación (Figura 7f). Haciéndose notar que sus características son aún mejores y con menos inclusiones, por lo que se puede concluir que los artesanos eligieron los nódulos de mejor calidad para manufacturar artefactos mediante presión como fueron las navajillas prismáticas.

## Conclusiones

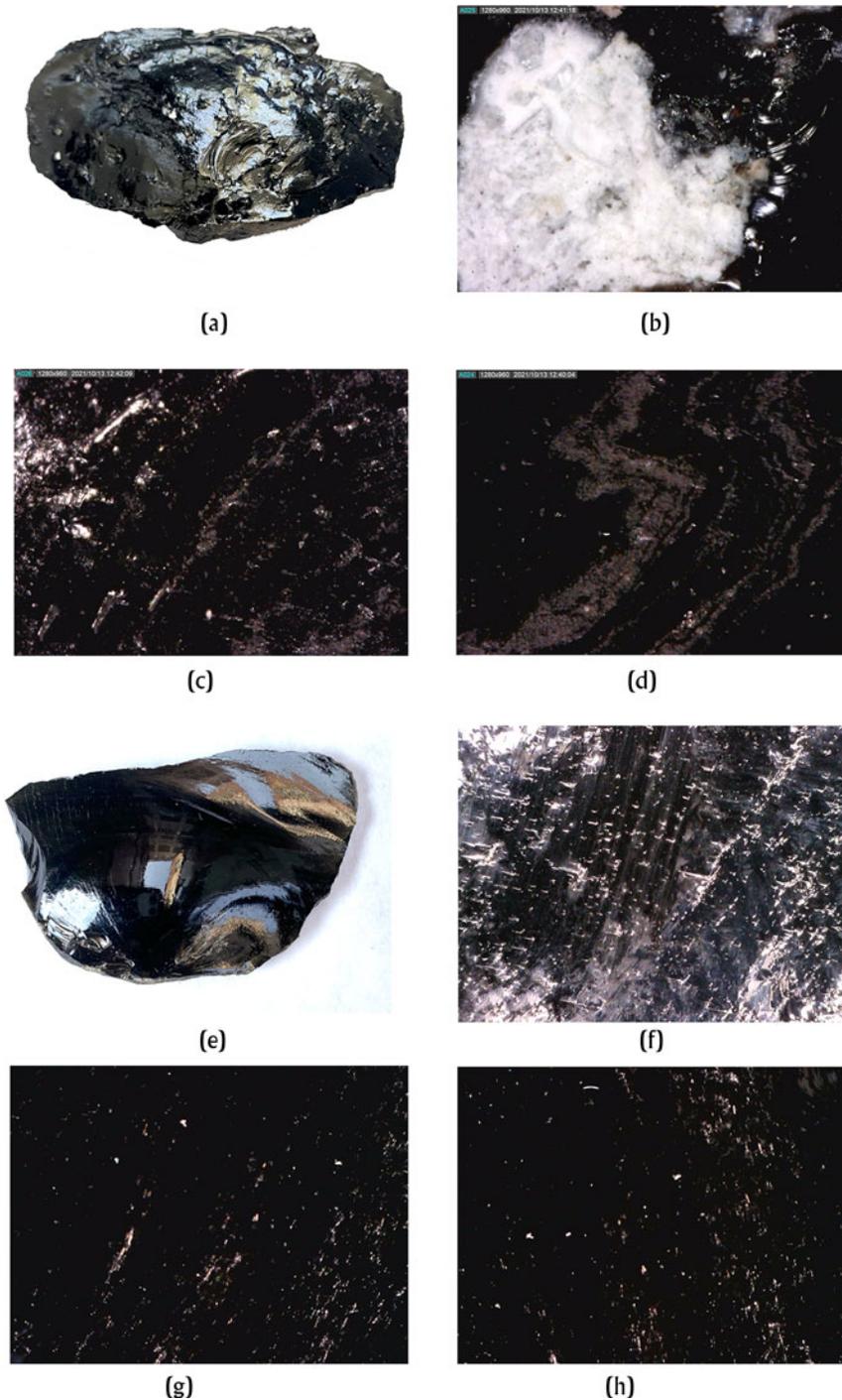
Aquí presentamos los resultados que confirman que las características composicionales de la obsidiana disponible en la isla de Atitlán no resultan óptimas para el trabajo de talla debido a su alto grado de inclusiones. Por otro lado, el análisis elemental mediante pXRF nos permite caracterizarla como un nuevo grupo composicional, de acuerdo con los resultados del análisis de elementos traza. Cabe mencionar que no podemos descartar la idea de que haya sido empleada para otros fines como materia prima de uso expeditivo o de uso exclusivamente local, como se ha registrado en sitios como el Valle de Toluca, donde el uso de la obsidiana local de baja calidad sucede de forma paralela a la de otros yacimientos obtenidos mediante intercambio (Kabata 2010); sin embargo, en lo que ahora se denomina Conjunto Especializado de Producción y Desecho (CEP), se privilegió una composición vítrea más homogénea con escasas inclusiones, una característica que no presenta la obsidiana local de la isla.



**Figura 4.** Análisis de componentes principales de los yacimientos estudiados junto con otros yacimientos importantes del Occidente de México (elipses de confianza del 95 por ciento). Gráfica realizada por Acosta Ochoa.



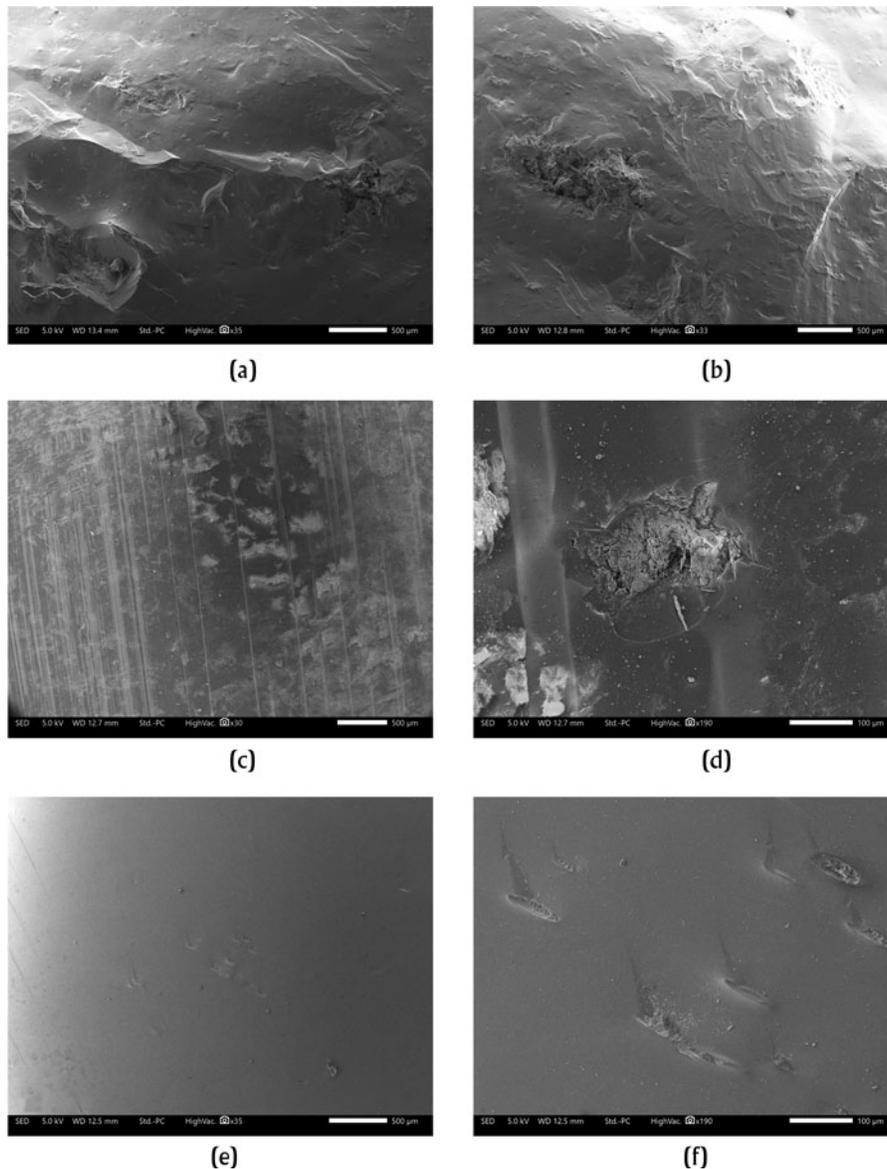
**Figura 5.** Análisis bivariado (estroncio versus itrio) en partes por millón de las obsidias de La Joya e la isla de Atitlán (elipses de confianza del 95 por ciento). Gráfica realizada por Acosta Ochoa.



**Figura 6.** Microfotografías mediante microscopio digital (100×) de la superficie de (a–d) la obsidiana negra de la isla de Atitlán, comparadas con (e–h) la obsidiana de La Joya. Fotografías y composición por Acosta Ochoa.

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 con base en las concentraciones de los elementos analizados. Estos valores serán comparados con los resultados obtenidos para las obsidianas arqueológicas del proyecto y servirán para identificar el probable uso de la obsidiana local, que de otra manera habría quedado oculto. Los resultados se detallan en la [Tabla 1](#).

En la primera etapa de estudios de procedencia y composición de obsidiana en la Cuenca de Magdalena y la región Valles se caracterizó la química elemental de un yacimiento que no había sido reportado antes en la bibliografía: Atitlán. Gracias a los resultados se logró corroborar, con datos confiables, el argumento arqueológico que por décadas sostuvo que los habitantes isleños privilegiaron la producción de objetos destinados para uso y distribución a partir de materias primas no disponibles en la isla. Antes



**Figura 7.** Imagen de microscopio electrónico de barrido (MEB), electrones secundarios, de la superficie de distintas obsidias: (a–b) isla de Atitlán a 35 $\times$ ; (c) La Joya a 35 $\times$ ; (d) inclusión en una navajilla de La Joya a 190 $\times$ ; (e) superficie de una navajilla prismática de Pachicha a 35 $\times$ ; y (f) detalle de las inclusiones presentes en la obsidiana de Pachuca a 190 $\times$ . Fotografías y composición por Acosta Ochoa.

del presente análisis, la premisa se planteó exclusivamente tomando como base los rasgos fisiológicos distintivos identificados a un nivel macro de la visual humana, por lo que este trabajo ofrece datos analíticos más ciertos.

Los primeros resultados de composición y superficie de obsidiana de los yacimientos indican que, en efecto, el yacimiento de La Joya fue el principal ventero de abastecimiento de materia prima para la talla que se realizó en la isla: una obsidiana negra verdosa con estructura dura y homogénea. El análisis microscópico demostró que la obsidiana de la isla de Atitlán presenta gran número de inclusiones que la hacen poco útil para la talla de artefactos especializados, anudando a la escasa disponibilidad de la misma para cubrir una producción de la envergadura que se vislumbra en el CEP. En otras palabras: la posibilidad del uso de la obsidiana

disponible en el interior de la isla como materia prima para las actividades que se reflejan en la huella de CEP quedan descartadas. Para sus habitantes, esto implicó sin duda interactuar en mecanismos de organización, distribución y traslado más complejos, inmersos en una dinámica económica regional. Sin embargo, como se mencionó al inicio, no dudamos que los materiales locales pudieron ser empleados como materia prima para otros instrumentos que cubrieran necesidades menores de los habitantes, lo que se podrá conocer gracias a la incorporación del yacimiento a la base de datos de nuestro proyecto.

Igualmente, entre otros resultados preliminares, se destaca la generación de la base de datos confiable sobre la geoquímica de los yacimientos regionales, que permitirá la comparación para determinar la procedencia de un corpus

más numeroso de muestras arqueológicas procedentes del CEP y otras áreas de producción en la cuenca con la finalidad de identificar otras fuentes primarias y secundarias que también ayudarán eventualmente a conocer mejor el complejo socioeconómico y político en esta zona.

**Acknowledgments.** Al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), por la revisión del proyecto y permisos otorgados para el desarrollo de la investigación. Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por los recursos brindados para el desarrollo de la investigación. Mención especial otorgamos al Laboratorio de Prehistoria y Evolución del IIA-UNAM, que nos proporcionó el equipo y todas las facilidades técnicas para la realización de los análisis de microscopía, así como, del mismo instituto, a Gerardo Jiménez y Javier Mejía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital. Agradecemos a los participantes en el proyecto durante el año 2020: Gabriela García Ayala y Víctor Oseguera Barragán, por su intervención en la toma de muestras y el ejercicio de manufactura experimental. Nuestra gratitud para el municipio de San Juanito de Escobedo, por darnos las facilidades para cumplir con los objetivos. Por la lectura y revisión del presente documento, a Rafael Torres Meyer, Eduardo Williams y John Pint.

**Supplementary material.** The supplementary material for this article can be found at <https://doi.org/10.1017/S0956536122000153>.

## References

- Acosta Ochoa, Guillermo, and Víctor Hugo García Gómez  
2022 La importancia de la obsidiana de Otumba durante el período Arcaico en la Cuenca de México: Un análisis mediante pXRF. *Latin American Antiquity*. <https://doi.org/10.1017/laq.2022.17>.
- Blanco Morales, Ericka  
2018 *El uso de espacio en la isla de Atitlán a lo largo de 900 años: Un acercamiento a la vida lacustre en la región Valles de Jalisco*. Tesis doctoral, Coordinación en Estudios Mesoamericanos, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Blanco Morales, Ericka, and Patricia Pérez Martínez  
2022 Conjunto especializado para la producción de instrumentos de obsidiana y el aprovechamiento de recursos lacustres dentro de un contexto isleño en el occidente mesoamericano. *Latin American Antiquity*. Documento electrónico, <https://doi.org/10.1017/laq.2022.3>.
- Blanco Morales, Ericka Sofía  
2021 Petateros de San Juan: Últimos herederos del modo de vida lacustre en las inmediaciones de la cuenca de Magdalena, Jalisco. *Anales de Arqueología y Etnología* 76:11–37.
- Clark, John, and 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 Soto de Arechavaleta, pp. 347–404. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- 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, University of Pittsburgh, Ciudad de México.
- Darling, Andrew  
1998 *Obsidian Distribution and Exchange in the North-Central Frontier of Mesoamerica*. Tesis doctoral, Department of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor.
- Darras, Véronique  
1999 *Tecnologías prehispánicas de la obsidiana: Los centros de producción de la región de Zináparo-Prieto, Michoacán, México*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 9. Centre d'études mexicaines et centraméricaines, Ciudad de México.
- Esparza López, Rodrigo  
2001 Los yacimientos de obsidiana en el occidente de México: Análisis geoquímico por técnicas nucleares y su repercusión en el estudio de las rutas de comercio prehispánicas. Tesis de maestría, Departamento de Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- 2004 Minería prehispánica de obsidiana en la región central de Jalisco. En *Tradiciones arqueológicas*, editado por Efraín Cárdenas, pp. 79–89. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- 2008 Los yacimientos de obsidiana de El Pedernal-La Mora: una explotación constante durante el desarrollo de la Tradición Teuchitlán. In *Tradiciones Teuchitlán*, editado por Phil Weigand, Chris Beekman, y Rodrigo Esparza López, pp. 143–166. El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán.
- 2009 Los yacimientos de obsidiana en Jalisco y sus redes de comercio prehispánicas. En *Las sociedades complejas del occidente de México en el mundo mesoamericano: Homenaje al Dr. Phil C. Weigand*, editado por Eduardo Williams, Lorenza López Mestas, y Rodrigo Esparza López, pp. 117–134. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Esparza López, Rodrigo, and Carla Ponce  
2005 La obsidiana en el contexto arqueológico de los Guachimontones, Teuchitlán. En *El antiguo occidente de México: Nuevas perspectivas sobre el pasado prehispánico*, editado por Eduardo Williams, Phil Weigand, Lorenza López Mestas, y David Grove, pp. 145–170. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Esparza López, Rodrigo, and Dolores Tenorio  
2004 Las redes de intercambio de la obsidiana en la Tierra Caliente de Michoacán durante los períodos epiclásico y postclásico. En *Bienes estratégicos del antiguo occidente de México*, editado por Eduardo Williams, pp. 77–112. El Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Esparza López, Rodrigo, Dolores Tenorio, and Melania Jiménez  
2017 Los caminos de la obsidiana en el occidente de México. En *Migraciones e interacciones en el Septentrión mesoamericano*, editado por Efraín Cárdenas, pp. 275–296. El Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Forster, Nicola, and Peter Grave  
2012 Non-destructive PXRF Analysis of Museum-Curated Obsidian from the Near East. *Journal of Archaeological Science* 39:728–736.
- Frahm, Ellery  
2014 Scanning Electron Microscopy (SEM): Applications in Archaeology. En *Encyclopedia of Global Archaeology*, editado por Claire Smith, pp. 6487–6495. Springer, Nueva York.
- Gaxiola, Margarita, and John E. Clark  
1989 *La obsidiana en Mesoamérica*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Glascok, Michael, and Jeffrey Ferguson  
2012 Report on the Analysis of Obsidian Source Samples by Multiple Analytical Methods. Documento electrónico, [https://www.researchgate.net/publication/236850163\\_Report\\_on\\_the\\_Analysis\\_of\\_Obsidian\\_Source\\_Samples\\_by\\_Multiple\\_Analytical\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/236850163_Report_on_the_Analysis_of_Obsidian_Source_Samples_by_Multiple_Analytical_Methods), accedido el 2 de febrero de 2021.
- Glascok, Michael D., Geoffrey Braswell, and Robert Cobean  
1998 A Systematic Approach to Obsidian Source Characterization. En *Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory*, editado por Michael Shackley, pp. 15–65. Springer, Boston.
- Glascok, Michael, Phil Weigand, Rodrigo Esparza López, Michael Ohnserorgen, Mauricio Garduño Ambriz, Joseph Mountjoy, and J. Andrew Darling  
2010 Geochemical Characterization of Obsidian Sources in Western Mexico: The Sources of Jalisco, Nayarit, and Zacatecas. En *Crossing the Straits: Prehistoric Obsidian Source Exploitation along the Pacific Rim*, editado por Yaroslav V. Kuzmin y Michael D. Glascok, pp. 201–217. BAR International Series S2152. Archaeopress, Oxford.
- González, Roberto, Phil Weigand, and Acelia García de Weigand  
2000 *El templo/convento de la Concepción de Etzatlán, Jalisco y su contexto prehispánico*. Secretaría de Cultura del Gobierno del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco.
- Hernández, Christine, and Dan Healan  
2008 The Role of Late Pre-Contact Ethnic Enclaves in the Development of the Eastern Tarascan Frontier. *Ancient Mesoamerica* 19:265–282.
- Hester, Thomas, Michael D. Glascok, Frank Asaro, and Fred H. Stross  
2017 Recent Data on Mesoamerican Obsidian from Archeological Sites in the Rio Grande Delta and Other Areas in Southern Texas. *Bulletin of the Texas Archeological Society* 88:77–93.
- Hirth, Kenneth, Ann Cyphers, Robert Cobean, Jason De León, and Michael Glascok  
2013 Early Olmec Obsidian Trade and Economic Organization at San Lorenzo. *Journal of Archaeological Science* 40:2784–2798.

- Kabata, Shigeru  
2010 *La dinámica regional entre el Valle de Toluca y las áreas circundantes*. Tesis doctoral, Departamento de Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- León, Elmo, Rodrigo Esparza López, Phil Weigand, Efraín Cárdenas, y Eric Cach  
2006 Folsom Points from Los Guachimontones Site, Jalisco, México. *Current Research in the Pleistocene* 23:58–60.
- Lewis-Kenedi, Catherine B., Rebecca A. Lange, Chris M. Hall, y Hugo Delgado-Granados  
2005 The Eruptive History of the Tequila Volcanic Field, Western Mexico: Ages, Volumes, and Relative Proportions of Lava Types. *Bulletin of Volcanology* 67:391–414. <https://doi.org/10.1007/s00445-004-0377-3>.
- Lorenzo, José Luis  
1964 Dos puntas acanaladas halladas en la región de Chapala, México. *Boletín del INAH* 1:1–6.
- Martindale Johnson, Lucas R., Jeffrey R. Ferguson, Kyle P. Freund, Lee Drake, and Daron Duke  
2021 Evaluating Obsidian Calibration Sets with Portable X-Ray Fluorescence (ED-XRF) Instruments. *Journal of Archaeological Science: Reports* 39:103126.
- Millhauser, John K, Lane F. Fargher, Verence Y Heredia Espinoza, y Richard E. Blanton  
2015 The Geopolitics of Obsidian Supply in Postclassic Tlaxcallan: A Portable X-ray Fluorescence Study. *Journal of Archaeological Science* 58:133–146.
- Mireles, Camilo  
2021 La explotación de obsidiana roja con negro de la Sierra de Ahuiculco, Jalisco, durante el postclásico (900–1525 d.C.). Tesis de maestría, Departamento de Arqueología, Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Mrázová, Štěpánka, y Petr Gadas  
2011 Obsidian Balls (Marekanite) from Cerro Tijerina, Central Nicaragua: Petrographic Investigations. *Journal of GEOsciences* 56:43–49. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.086>.
- 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.
- Pastrana, Alejandro  
1998 *La explotación azteca de la obsidiana en la Sierra de las Navajas*. Colección Científica 383, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pierce, Daniel  
2021 A Regional Assessment of Obsidian Use in the Postclassic Aztatlán Tradition. *Ancient Mesoamerica*. Documento electrónico, <https://doi.org/10.1017/S0956536120000346>.
- Pierce, Daniel E.  
2015 Visual and geochemical analyses of obsidian source use at San Felipe Aztatlán, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology* 40:266–279.
- Shackley, Michael S.  
2011 An Introduction to X-ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology. En *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, editado por Michael S. Shackley, pp. 7–14. Springer, Nueva York.
- Shugar, Aaron N., y Jennifer L. Mass  
2012 Introduction. En *X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, editado por Michael S. Shackley, pp. 17–36. Springer, Nueva York.
- Soto de Arechavaleta, Dolores  
1982 *Análisis de la tecnología de producción del taller de obsidiana de Guachimontón, Teuchitlán, Jalisco*. Tesis de licenciatura en Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- 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.
- Speakman, Robert J., y Michael Shackley  
2013 Silo Science and Portable XRF in Archaeology: A Response to Frahm. *Journal of Archaeological Science* 40:1435–1443.
- Spence, Michael, y Phil Weigand  
1989 The Obsidian Mining Complex at La Joya. En *La obsidiana en Mesoamérica*, editado por María Gaxiola y John Clark. Colección Científica, Serie Arqueología. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Tenorio, Dolores, Melania Jiménez Reyes, Juan Rodrigo Esparza López, Thomas Calligaro, y L.A. Grave Tirado  
2015 The Obsidian of Southern Sinaloa: New Evidence of Aztatlán Networks through PIXE. *Journal of Archaeological Science: Reports* 4:106–110.
- Van Gijn, Annelou  
2010 *Flint in Focus: Lithic Biographies in the Neolithic and Bronze Age*. Sidestone Press, Leiden.
- Weigand, Phil C.  
1993 *Evolución de una civilización prehispánica: Arqueología de Jalisco, Nayarit y Zacatecas*. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Weigand, Phil C., y Acelia García de Weigand  
1994 La minería prehispánica en Jalisco. *Estudios Jaliscienses* 17:5–21.  
1996 *Tenamaxti y Guaxicar: Las raíces profundas de la rebelión de Nueva Galicia*. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.
- Weigand, Phil C., y Michael W. Spence  
1982 The Obsidian Mining Complex at La Joya, Jalisco. In *Mining and Mining Techniques in Ancient Mesoamerica*, editado por Phil C. Weigand y G. Gwynne, pp. 75–188. Anthropology 6, State University of New York, Stony Brook.
- Weigand, Phil, Acelia García de Weigand, y Michael Glascock  
2004 La explotación de los yacimientos de obsidiana en el centro-oeste de Jalisco. En *Bienes estratégicos del antiguo occidente de México*, editado por Eduardo Williams, pp. 113–135. Colegio de Michoacán, AC, Zamora, Michoacán.