

Estudio mineralógico de lapidaria prehispánica de El Opeño, Michoacán: evidencias de organización social hacia el Formativo medio en el occidente de México**

La caracterización mineral-química de la lapidaria recuperada durante la excavación de 1991 en tumbas con acceso de escalera del Formativo medio, en el sitio El Opeño, en Jacona, Michoacán, se realizó con técnicas como la petrografía (PTG), minerografía (MNG), difracción de rayos X (DRX) y espectroscopia infrarroja de reflexión (EIRR). De un lote de 313 piezas se han identificado como sus constituyentes minerales no metálicos a la jadeíta $[\text{Na}(\text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6]$, onfacita $[(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{AlSi}_2\text{O}_6]$, albíta $[\text{NaAlSi}_3\text{O}_8]$, cuarzo $[\text{SiO}_2]$, caolinita $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, malaquita $[\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2]$, tremolita $[\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$, rutilo $[\text{TiO}_2]$, anatasa $[\text{TiO}_2]$, además de los minerales opacos pirita $[\text{FeS}_2]$, hematita $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ y magnetita $[\text{Fe}_3\text{O}_4]$. De éstas, más del 60 por ciento proceden de una fuente geológica de metamorfismo de alta presión y baja temperatura, en este caso, de un yacimiento localizado a una distancia mayor de 1 200 km en línea recta (Valle de Motagua, al noreste de la ciudad de Guatemala) y de otras regiones localizadas al norte y noroeste de Mesoamérica, como la Sierra Madre Occidental, probablemente. Se considera que una parte menor de dichas piezas tuvieron su fuente geológica en un radio mínimo a 200 km. Estas evidencias sumadas al carácter ritual de las ofrendas sugieren una organización social tal que permitiera a grupos de individuos el acopio de materiales preciados sin importar la distancia y recursos invertidos para lograr el objetivo. Es probable, que en muchos de los casos se aprovecharan rutas de comercio o intercambio ya existentes para la conexión del occidente con el resto de Mesoamérica en los tiempos referidos. Esa situación facilitaría el traslado de materia prima o de objetos lapídeos desde yacimientos geológicos muy lejanos.

El estudio de materiales lapidarios localizados en contexto arqueológico ha evolucionado, dejó de ser solamente una actividad de caracterización mineral o química de objetos, para incluso señalar las fuentes geológicas fidedignas de diferentes materias primas. Si se considera que dentro de las sociedades mesoamericanas algunos materiales peculiares como el jade, la turquesa, la hematita, el cinabrio, la malaquita o la pirita, entre otros, jugaban un papel importante en sus preferencias, sus rituales y aun en su economía, se puede entender el afán por conseguirlos. Muchos de esos materiales eran susceptibles de ser transportados desde regiones distantes respecto a cualquier punto de referencia dentro de las magnas porciones culturales y territoriales antiguas. Por esta razón,

* Centro INAH Michoacán: [oliver-m@prodigy.com.mx], [jasinto_robles@yahoo.com].

** Este trabajo ha sido realizado en gran parte con el equipo, bibliografía y material cartográfico de los investigadores del Departamento de Geología y Mineralogía del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se agradece específicamente el apoyo valioso de la maestra Victoria Luque Valdivia por la exploración de las muestras por difracción de rayos X y del doctor Mikhail Ostroumov por las mediciones y discusión de los espectros de infrarrojo.

la búsqueda de yacimientos, el conocimiento sobre las técnicas de producción, la transportación de materia prima y la tasación del producto final en los mercados es complicada de entender, aunque es un buen reto de interpretación en el presente.

Para lograr este objetivo es necesario recurrir a la tecnología, ya que en la actualidad es posible profundizar en el estudio de estos materiales hasta obtener, incluso, la medición precisa de elementos químicos traza (concentraciones de partes por millón; ppm o partes por trillón; ppt), como los lantánidos (número atómico 57 a 71) o uranio (U, de número atómico 92), si es el caso. Asimismo, se ha llegado a la aplicación de la espectrometría de masas para medir relaciones isotópicas para fechamiento y para tipificar muestras de piezas arqueológicas (Reed, 2001; Robles-Camacho *et al.*, 2002: 240-241; Robles-Camacho, 2006). De esta forma, el valor auténtico de los análisis se logra cuando los objetos de interés se integran en contextos geoarqueológicos controlados de manera adecuada. En este tenor y aprovechando la disposición y apoyo de los investigadores del Departamento de Geología y Mineralogía del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana, se realizó el análisis sistemático de materiales lapidarios más representativos del sitio llamado El Opeño, en el municipio de Jacona, Michoacán (fig. 1). Este sitio arqueológico es uno de los hallazgos culturales de mayor antigüedad, localizado hasta ahora dentro del occidente de México. Se rescataron una serie de interesantes piezas que fueron seleccionadas para este estudio. Dichos objetos se encontraron alojados en calidad de ofrenda, diseminados dentro de las tumbas que particularizan al lugar.¹ Se trata de construcciones funerarias, las cuales

dieron pauta a otras inhumaciones realizadas en la región, y mejor conocidas como “tumbas de tiro”. En el caso de estas tumbas michoacanas el acceso a las cámaras funerarias se realizaba por medio de escalinatas talladas —como todo el conjunto arquitectónico—, en el seno de una toba volcánica o depósito piroclástico. Las criptas fueron utilizadas varias veces por los antiguos habitantes del lugar; esto se constató por la remoción de osamentas y objetos de ofrenda (Oliveros, 1974; 2000; 2004). De ahí que la caracterización de sus componentes minerales y químicos haya permitido la cuantificación de diferentes materiales empleados en la región, por el grupo o grupos étnicos que en ella vivieron. Por lo pronto, con este análisis se inicia también la creación de una base de datos que servirá como la plataforma necesaria para reconstruir episodios históricos a partir de la ocupación de El Opeño y la evolución tentativa en el uso de materiales lapídeos en etapas sucesivas, dentro del dominio mesoamericano occidental. Se sugiere, por lo tanto, que para tener una compatibilidad interpretativa se requiere que la exploración de sitios sea con el mayor cuidado.

Con este marco se confirma que las sociedades precolombinas que habitaron los distintos rumbos en que ha sido dividida la gran área



● Fig. 1 Mapa de localización del sitio arqueológico El Opeño, en el estado de Michoacán.

¹ Por medio de los fechamientos determinados por C¹⁴, se ha considerado una antigüedad aproximada entre 1 500 a 1 000 a.C. la cual corresponde al llamado Preclásico o Formativo medio (A. Oliveros y M. De los Ríos, 1993).

cultural mesoamericana, dejaron evidencias de su capacidad de organización, de sus jerarquías, preferencias e ideologías. Para poder descifrar su estatus y el papel en sus contextos socioculturales, ha sido necesario recurrir a los documentos creados por ellos mismos, ya en forma de petrograbados, en escultura o códices; así como en la evaluación de sus producciones arquitectónicas, sus trabajos en lítica y, por supuesto, en las narraciones recabadas por los conquistadores. Todo ello es testimonio de aquel mundo que quedó plasmado a partir de las palabras y el pensamiento de los indígenas; por lo que la mayor parte de nuestra historia ha sido construida considerando esa información y de algunas referencias similares. Sin embargo, existe otro tipo de elemento histórico que puede ser igualmente explotado para continuar en esta línea de reconstrucción del pasado; por lo que, si se considera que las obras manuales mayores y menores son producto del ámbito sociocultural logrado por los habitantes de cada región, las obras lapidarias son también un elemento de referencia importante para la reconstrucción de capítulos históricos peculiares; son importantes no sólo en cuanto a técnicas de producción o materia prima se refiere, sino a sus significados, colores, demandas comerciales, referencias mágicas y valoración estimativa. Después de todo, en el mundo antiguo la apreciación de ciertos minerales y otras materias primas definió no sólo preferencias grupales, sino su valor social y religioso.

Para la caracterización mineral de objetos lapídeos representativos de El Opeño, se han aplicado criterios de mineralogía física y técnicas como la petrografía (PTG), minerografía (MNG), difracción de rayos X (DRX), además de la espectroscopia infrarroja en su variante de reflexión (EIRR). Con la técnica EIRR se ha pretendido resolver el problema de caracterización mineral en piezas de mayor estética, de las cuales es prácticamente imposible extraer una fracción suficiente para aplicar la DRX. Se aprovechó esta oportunidad para probar su potencial, considerando principalmente su carácter no destructivo y por ser éste el primer ejercicio sistemático realizado en México, aunque ya ha

sido aplicado en el estudio de piezas mesoamericanas (Banerjee y Gaida, 1999: 77-99; Robles-Camacho y Sánchez-Hernández, 2004: 371-372). Con la información generada se ha iniciado la creación de una base de datos de 313 piezas, la cual resulta de particular interés si se considera que se trata del sitio más antiguo registrado para el occidente de México.

En este ensayo se ilustran distintas perspectivas de análisis de materiales lapidarios y ofrece principios básicos de las diferentes técnicas aplicadas para el interés arqueológico regional. Esto se hace con el fin de que el lector adquiera un panorama del significado y alcance de dichas técnicas. Asimismo, los resultados de los diferentes materiales analizados se plasman en cada tema y se comparan al final para normar criterios sobre las fuentes de materia prima y de su interpretación en el contexto sociocultural en el occidente y después en Mesoamérica.

Para hacer un reconocimiento integral y preciso del tipo de materiales preferidos o dominantes y que fueron ofrendados en este lugar, se integran los resultados de caracterización mineral-química de las piezas arqueológicas y se ha considerado la información geológica existente, además de otras investigaciones arqueométricas inherentes a la procedencia de materias primas de objetos mesoamericanos. Con esto ha sido posible reconocer, de manera general, su autoctonía o aloctonía, con las implicaciones socioculturales sugeridas para temporalidades de alrededor de 1 500 o 1 000 años a.C. en el occidente de México. Se ilustra la conclusión de este trabajo con un modelo de acopio de materias primas, que se apoya en evidencias geológicas y trabajos geoarqueológicos realizados previamente. Por último, se establece que este estudio de lapidaria mesoamericana en uno de los sitios más antiguos reconocidos hasta ahora en el occidente de México, permite sentar los cimientos para generar bases de datos cuantitativos, que integrados conjuntamente con estudios sistemáticos, como el de cerámica, de concha, de textiles, de madera, de pigmentos, de polen, entre otros, han de aportar elementos de juicio para conocer más acerca de las costumbres de las sociedades asentadas en esta

parte de Mesoamérica. Entre las costumbres por conocer, sobresale la valoración de su capacidad para relacionarse con otros grupos o células sociales contemporáneas, y como consecuencia, su papel dentro del trazo de redes de intercambio, seguramente aprovechadas por otros grupos étnicos más tardíos.

Metodología

1. La selección de materiales consistió en separar las piezas arqueológicas representativas con dimensiones menores de 10 cm de longitud o diámetro y dividir las en dos grupos minerales: *a)* translúcidos y *b)* opacos. Se hicieron pruebas físicas de densidad relativa, dureza, raya y respuesta magnética.

2. Los objetos constituidos por agregados de minerales translúcidos de color verde, azul, tonos de gris y blanco, y por minerales opacos con o sin respuesta ante la presencia de un campo magnético, fueron revisados con microscopio binocular estereoscópico para identificar propiedades físicas y algunos rasgos sobresalientes como color, clivaje, reacción ante ácidos y reacción a la flama. Enseguida, se aplicó la petrografía (PTG) en muestras representativas para el estudio de minerales translúcidos y hacer un reconocimiento de la textura y formas de los arreglos cristalinos, así como para dar una clasificación precisa en algunos casos y tentativa en soluciones sólidas (grupos minerales de variaciones en algunos cationes o elementos químicos modificadores de la estructura cristalina); los minerales opacos se estudiaron por mineragrafía (MNG). La preparación de muestras para petrografía y mineragrafía consistió en elaborar secciones delgadas-pulidas ($30\ \mu\text{m}$) con polvo de diamante hasta obtener un brillo de espejo. Los equipos empleados fueron los microscopios Leica Zoom2000, Olympus BX40 y Olympus BX50.

3. La técnica de difracción de rayos X (DRX) se aplicó para hacer precisiones minerales en ambos casos. Las fracciones separadas para DRX fueron pulverizadas en mortero de ágata hasta obtener partículas de dimensiones entre 50 y $30\ \mu\text{m}$. Esta técnica requiere generalmente de

cantidades menores de 50 mg en los casos de agregados monominerales y entre 60 y 100 mg para obtener difractogramas confiables de agregados poliminerales. El equipo empleado fue un difractómetro Siemens modelo D-5000, con radiaciones de $\text{Cu}_{\lambda=1.54\text{\AA}}$ y monocromador de Ni.

4. Se aprovecharon los estándares generados mediante el uso de las técnicas descritas para aplicar por primera vez la espectroscopia infrarroja de reflexión (EIRR). Las mediciones EIRR fueron realizadas en fracciones de diferentes dimensiones para conocer la reproducibilidad de respuesta del equipo. Los espectros fueron certificados con el uso de un catálogo digital de estándares, cuyo autor es el doctor Mikhail Ostroumov. El equipo que se empleó fue un espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier, modelo Spectrum BX-II de la marca Perkin-Elmer.

Resultados

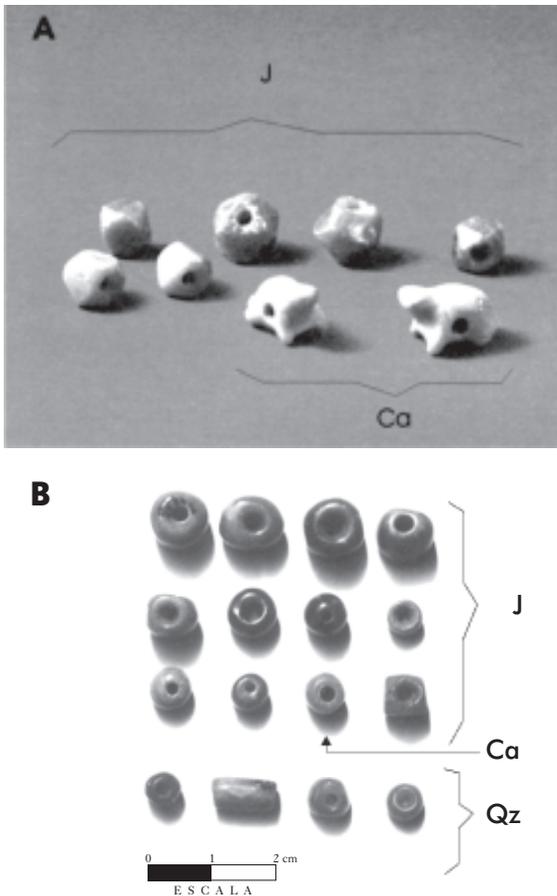
Las piezas arqueológicas lapídeas del sitio El Opeño, colectadas durante la temporada 1991 y analizadas en el presente estudio, contienen agregados minerales no metálicos y metálicos de las especies que se describen a continuación.

Jadeíta $[\text{Na}, (\text{Al}, \text{Fe}) \text{Si}_2\text{O}_6]$

La jadeíta es un mineral del grupo del piroxeno, que se caracteriza por presentar diferentes colores y tonos, desde blanco, hasta azul-gris, verde olivo y verde manzana. También existen tonos naranja y amarillo claro. Los objetos arqueológicos elaborados con este material eran para el uso exclusivo de personas con mayores rangos dentro de las sociedades prehispánicas y su aprecio sobrepasaba al del oro (Foshag, 1957; Harlow, 1993; Ward, 1996; Sahagún, 1999). En El Opeño se han identificado hasta ahora jadeítas con tres diferentes tonos:

1. Con gris, a partir del cual fueron elaborados objetos particularmente extraordinarios por sus acabados y formas geométricas casi perfectas. Las cuentas no son mayores de 1 cm de diámetro y presentan perforaciones casi cilíndricas,

aunque vistas con microscopio estereoscópico se aprecian las perforaciones encontradas (fig. 2).



● Fig. 2 Piezas arqueológicas no metálicas elaboradas, representativas del lote analizado en este trabajo. Los objetos fueron tallados en agregados minerales de jadeíta gris (J) y caolinita (Ca) gris claro [A] y en jadeíta (J), caolinita (Ca) y cuarcita (Qz) [B].

2. Con azul-gris,² con el que se elaboró un punzón de aproximadamente 7 cm de longitud, con perforaciones para colgarse.

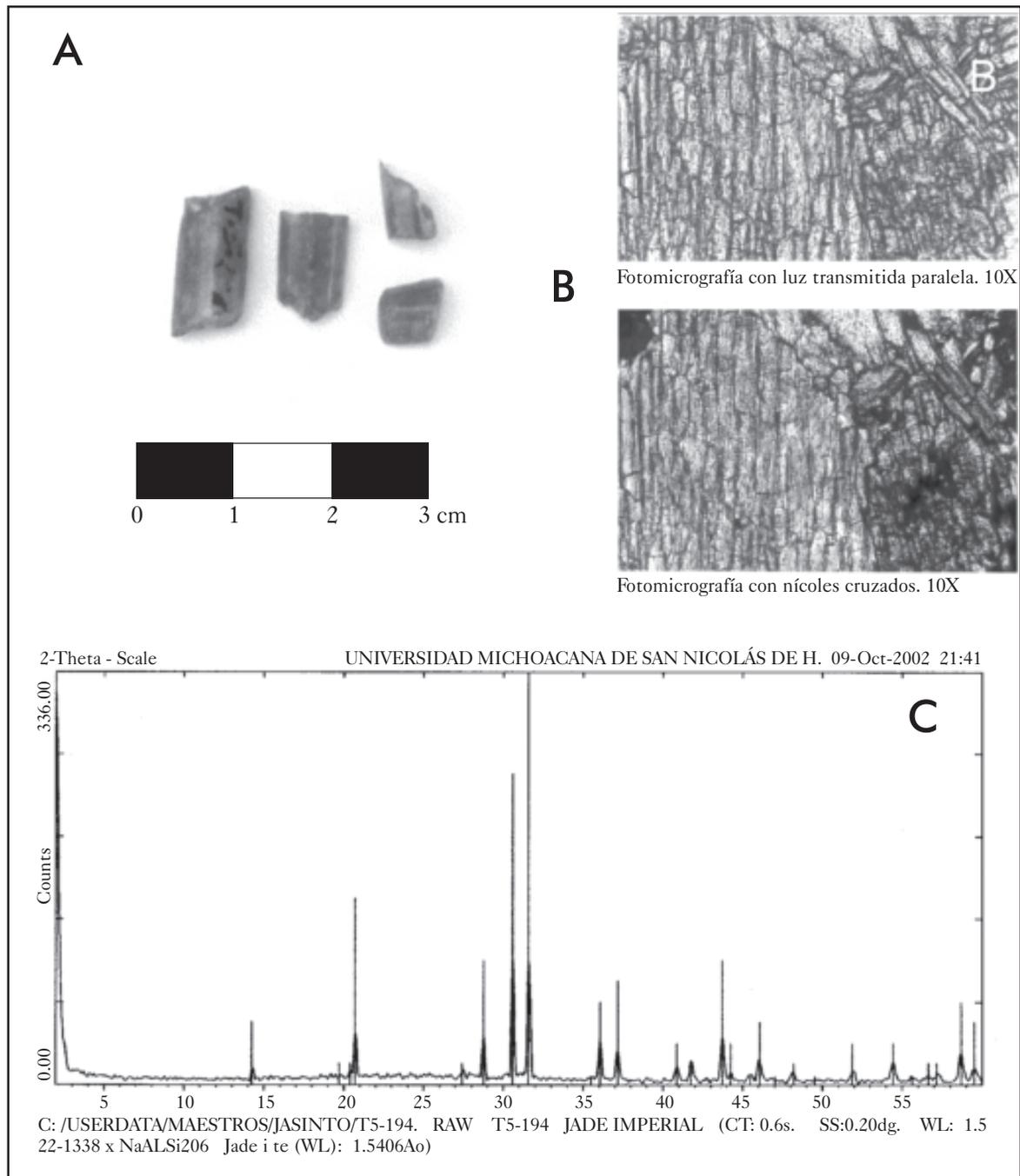
² Aparentemente se trata de un propulsor miniatura; de un *átlatl* ceremonial (mide 6.9 cm de largo), como los estudiados en Veracruz (Gendron, 1994). Se supone que son piezas olmecas en origen y que se han localizado de Veracruz a Costa Rica. La dimensión de uno de esos objetos es de 9.1 cm de largo; un poco mayor que el de El Opeño. También pudo ser una pequeña azuela. Tiene además tres finas perforaciones cilíndricas y regulares, repartidas a lo largo del cuerpo, más dos acanaladuras longitudinales para poderlo sujetar a un supuesto mango, en caso de que fuera propulsor.

3. Con el equivalente al llamado jade imperial de Burma, denominado aquí como jade verde esmeralda, es el que presenta el color más espectacular a la vista por su tono brillante con motas blancas (fig. 3a).

Con la visión microscópica se aprecian diferencias en los arreglos cristalinos. Las piezas de jade verde esmeralda están integradas por cristales de dimensiones mayores (fig. 3b) que las de tonos gris y azul-gris. Las piezas de tonos gris son de granos más pequeños y homogéneos. De acuerdo con análisis realizados previamente, el jade verde esmeralda debe su coloración a la integración de cromo (Cr) por sustitución de aluminio (Al) en su arreglo molecular (Harlow, 1993). Mientras tanto, los jades gris-azul tienen ordenado al hierro (Fe) como elemento modificador de su arreglo interno. La difracción de rayos X (DRX) en ambos casos indica que estructuralmente son iguales (fig. 4c); algo similar se aprecia al aplicar la técnica de espectroscopia infrarroja de reflexión (fig. 4). Los yacimientos de jadeíta alrededor del mundo están asociados a cinturones metamórficos que exponen superficialmente a rocas que han sufrido metamorfismo de alta presión y baja temperatura. Las jadeítas, generalmente se hallan como inclusiones en serpentinitas. Particularmente en el área de Mesoamérica se han encontrado en el Valle de Motagua (al noreste de la ciudad de Guatemala) los principales yacimientos de jadeíta. Otros depósitos localizados hacia el norte y fuera de esa área cultural se encuentran en California, Estados Unidos. Sin embargo, el primero de ellos se considera hasta ahora como el único abastecedor de jade dentro de las sociedades prehispánicas (Bishop, *et al.*, 1993: 30-60; Harlow, 1993; 1994).

Cuarzo [SiO₂]

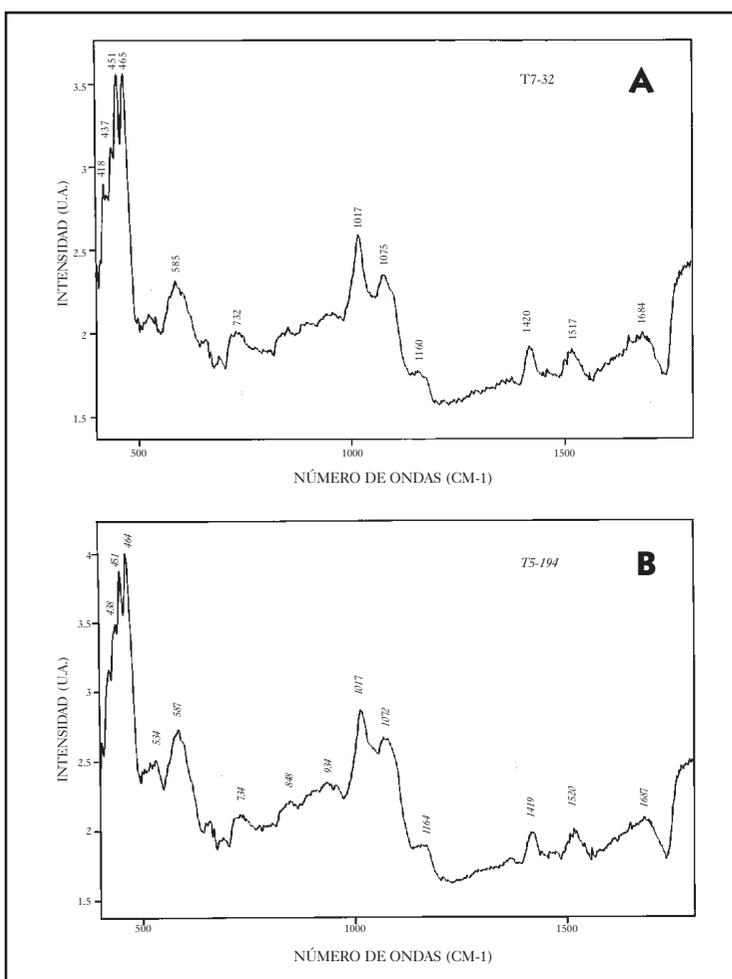
El cuarzo es un mineral que abunda en la naturaleza y sus ambientes geológicos de formación son prácticamente todos (ígneo, sedimentario, metamórfico). Puede presentarse en amarillo, café, rojo, verde, azul, morado y negro. Es un polimorfo con tridimita, cristobalita, coesita y estishovita. En algunos casos el cuarzo puede



● Fig. 3 Muestra T5-194. Objeto cilíndrico verde esmeralda (A), vista microscópica (B), patrón de difracción de rayos X (C). Especie mineral identificada, jadeíta.

encontrarse en concentraciones altas, y da nombre a la roca (cuarcita), que sería de origen metamórfico principalmente. La cuarcita es una roca granoblástica formada por recristalización de arenisca en un proceso de metamorfismo regional o metamorfismo térmico. En México existen

reportes de depósitos de cuarzo en todo el país (Schmitter y Martín del Campo, 1980: 620). Asimismo, llaman la atención los depósitos de cuarzo claro y de alta pureza reportados en el Departamento de Baja Verapaz, al norte de la ciudad de Guatemala (Sinkankas, 1975). Las



● Fig. 4 Espectro infrarrojo de exploraciones superficiales en piezas arqueológicas de jadeíta gris (A) y verde (B) del sitio El Opeño, Michoacán.

piezas donde se identificó al cuarzo como único componente son representativas de una cantidad importante de objetos —principalmente cuentas para collar— localizados en El Opeño (fig. 2b). Aunque algunas de ellas son blancas (calcedonia), presentan manchas verdes (cristoprasa), lo cual da a las cuentas un aspecto verde moteado.

Caolinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$]

Algunos objetos de dimensiones mayores de 5 cm fueron labrados en caolinita, así como varias cuentas de tonos pardos y color crema claro. Las piezas más grandes presentan rasgos sobresalientes como un moleteado formando rombos

(grabado regular y bastante simétrico). Algunas de las cuentas de caolinita se caracterizan por presentar colores azul o verde y tonos de gris. Los yacimientos de caolinita se forman principalmente por la alteración hidrotermal de feldspatos potásicos. En México existen abundantes yacimientos de caolinita, particularmente asociados a sistemas geotérmicos activos o inactivos. Entre los yacimientos a considerar regionalmente se encuentran los de Los Azufres y Tiámaro, localizados al este-noreste del estado de Michoacán y los de la Sierra Madre Occidental (CFE, 1981; CRM, 1995; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

Nacrita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$]

La nacrita es un mineral del grupo de la caolinita-serpentina, trimorfo, además con caolinita y dickita. Éste se puede formar a partir de la caolinita o en condiciones similares a la descrita en el párrafo anterior. Los yacimientos de la nacrita reportados hasta ahora en México se encuentran en el estado de Guerrero (Schmitter y Martín del Campo, 1980: 620). Sin embargo, y debido a que puede encontrarse asociada a depósitos de caolinita, es factible encontrarla en zonas de descarga de sistemas geotérmicos activos o inactivos, como Los Azufres o Tiámaro, en el estado de Michoacán.

Malaquita [$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$]

El mineral de malaquita fue identificado como costras de alteración en cuentas metálicas de hematita y sólo una cuenta fue elaborada exclusivamente con este tipo de material. Como se apreció en este caso, la malaquita pudo formarse durante el tiempo de entierro de las piezas arqueológicas, pero también pudieron ser

aprovechadas fracciones desprendidas de un yacimiento de óxidos de hierro y de sulfuros de cobre para elaborar piezas verdes en forma de cuentas o pendientes. Los yacimientos con este mineral están asociados, generalmente, con depósitos de sulfuros, siempre como productos de alteración de ellos. Por lo tanto, las localidades que posiblemente fueron la fuente de materia prima pudieron ser locales, asociadas a sulfuros de cobre, de la parte central y sur del estado de Michoacán.

Rutilo y anatasa [TiO₂]

El rutilo y la anatasa son óxidos de titanio. En este caso particular fueron identificadas ambas especies en una pieza única en forma de pendiente, plano y con un orificio para colgar; utilizada por su color azul-verde. En México existen yacimientos de titanio en la costa del Pacífico, desde Jalisco hasta Guerrero. Yacimientos regionales de este tipo pueden estar asociados a depósitos de óxidos de hierro, titanio y berilio, localizados al menos en cuatro localidades del sur del estado de Michoacán.

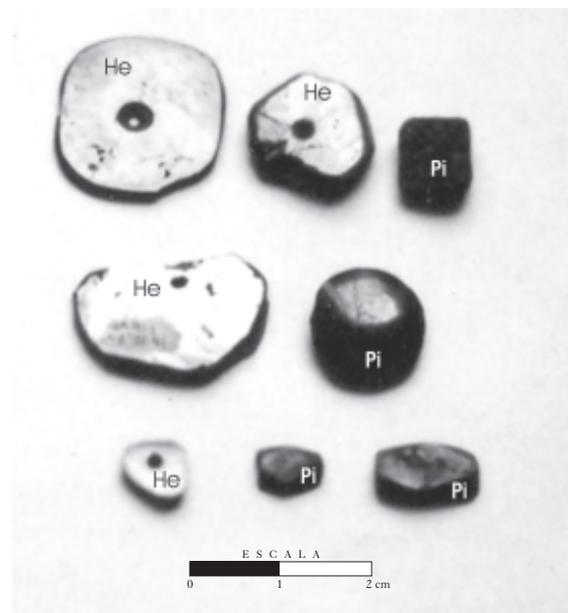
Tremolita [Ca₂(Mg, Fe), Si₈O₂₂(OH)₂]

Sólo se reconoció una cuenta de color verde claro y de aspecto fibroso-compacto, que fue clasificado con la técnica de DRX como tremolita. La tremolita es un mineral del grupo de los anfíboles que se origina en rocas alteradas por metamorfismo de contacto y regional; también se presenta en dolomitas impuras, metamorfizadas y en rocas ultramáficas metamorfizadas regionalmente. Este mineral representa el extremo magnésico-cálcico de la serie tremolita-actinolita, donde el término medio, en composición, se llama comúnmente nefrita (Sinkankas, 1975). En México ha sido identificado el mineral tremolita principalmente en el contacto de calizas y dolomitas con cuerpos intrusivos; además se acumulan asociados con depósitos ricos en sulfuros. Los sitios donde ha sido reportada la tremolita se encuentran en los estados de Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Durango,

Guanajuato, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Veracruz y Zacatecas (Schmitter y Martín del Campo, 1980: 620; Panczner, 1987). Aunque se trata del único ejemplar ha sido reportado previamente en hallazgos arqueológicos mesoamericanos (Foshag, 1957).

Pirita [FeS₂]

Entre los minerales opacos identificados se hallaron sulfuros y óxidos de hierro (fig. 5). El mineral de pirita fue identificado en varias cuentas metálicas de formas geométricas cúbicas con vértices truncados a prismas alargados con vértices igualmente truncados. Este mineral fue identificado como inclusión de una cuenta metálica de hematita. La pirita es un mineral del grupo de la pirita y dimorfo con la marcasita. Es de distribución amplia en ambientes sedimentarios, en rocas metamórficas e ígneas. En México se encuentran muchas minas de sulfuros (Schmitter y Martínez Del Campo, 1980; 620). En el estado de Michoacán han sido reportados depósitos de pirita, de moderados a impor-



● Fig. 5 Aspecto de piezas metálicas de hematita (He) y pirita (Pi), representativas del lote de objetos arqueológicos del sitio El Opeño, colectados durante la temporada de campo 1991 y analizadas en este trabajo.

tantes en los municipios de Acuitzio, Angangueo, La Huacana (Inguarán) y Tlalpujahua (Panczner, 1987).

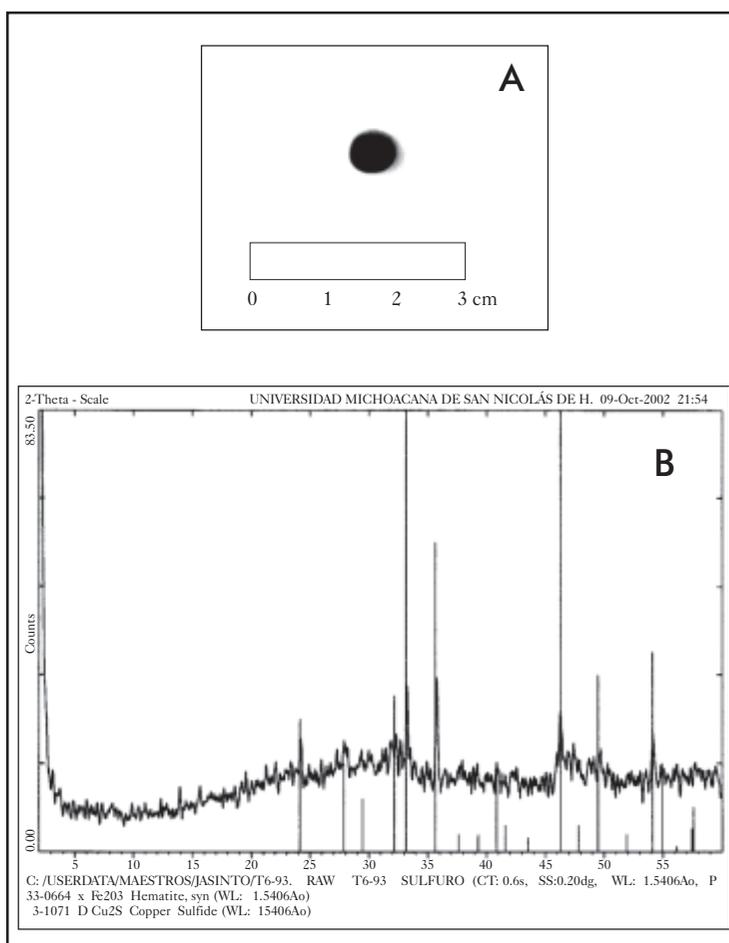
Hematita [Fe_2O_3]

Las cuentas de hematita presentan las siguientes propiedades físicas: megascópicamente son de tonos gris-plateado a negro, respuesta ligeramente magnética y densidad mayor de tres. En algunos casos presentan una cubierta de alteración de color verde aguamarina. Ésta es de menor dureza o tenacidad que la masa oscura, la cual es el producto de la transformación de trazas de sulfuros de cobre (como vetas o inclusiones) a carbonatos de cobre (fig. 6). El mineral resultante de la reacción de los sulfuros de cobre con CO_2 es la malaquita, que en este caso específico se formó probablemente bajo la condición de inhumación en la que se localizó; es decir, que se trata de una pieza que originalmente debió ser oscura con algunas motas azul-verde, pero que en el lapso de sepultura, hasta el momento de su descubrimiento en el sitio arqueológico, se produjo la reacción citada. Así, se formó una cubierta mineral verde de menor resistencia física a la intemperie y a la erosión. El patrón de difracción de rayos X (DRX) muestra que la hematita es el principal constituyente de esta pieza (fig. 6b). Los yacimientos de sulfuros y óxidos están asociados generalmente a regiones con actividad magmática o volcánica e hidrotermal. En México existen yacimientos en Chihuahua, Durango, Zacatecas, Guanajuato, Michoacán, Guerrero, entre otros. Son importantes los yacimientos regionales del sur del estado de Michoacán (Núñez y Torres, 1984: 120; Ostroumov y Corona, 1999: 93-111).

Síntesis

De acuerdo con los análisis de materiales, se tiene que las piezas elaboradas con jadeíta más onfacita (piroxenos) predominan con un total de 192 (61.2%). Las piezas labradas en cuarcita son 44 (14.01%), mientras que otras obras fueron hechas en hematita, 36 (11.6%) y caolinita, 27 (8.6%). Menos objetos han sido elaborados con materiales como piritita, malaquita, onfacita, magnetita, rutilo, anatasa, tremolita y nacrita, que representan porcentajes menores (véanse tabla 1 y fig. 7).

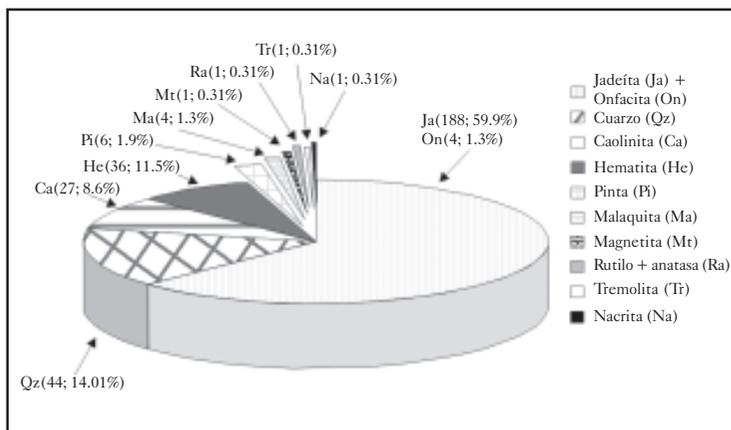
El acopio de materiales en El Opeño fue predominantemente de composición jadeítica, donde la presencia de albita (feldespato) le da un tono más claro o blanco a la pieza, mientras



● Fig. 6 Muestra T5-93. Cuenta de núcleo magnético con aureola verde (A) y difractograma (B). Minerales identificados, hematita con trazas de sulfuro de cobre y borde de malaquita.

<i>Mineral</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>
Jadeíta	188	59.9
Cuarcita	44	14.01
Hematita	36	11.5
Caolinita	27	8.6
Pirita	6	1.9
Malaquita	4	1.3
Onfacita	4	1.3
Magnetita	1	0.31
Rutilo + anatasa	1	0.31
Tremolita	1	0.31
Nacrita	1	0.31
Total de piezas	313	100.00

● Tabla 1. Relación proporcional de los componentes minerales para el total de piezas arqueológicas del sitio El Opeño, Michoacán, temporada 1991.



● Fig. 7 Diagrama que ilustra esquemáticamente el total de las piezas lapídeas analizadas en el presente estudio (313) y la cantidad con su porcentaje, correspondiente a cada especie mineral del que están constituidas.

que al ocurrir onfacita (cuatro piezas) los tonos de verde son más oscuros. Las piezas elaboradas con este tipo de material rebasan considerablemente a aquellas hechas con otros componentes igualmente interesantes como la caolinita y la cuarcita. Particularmente en las últimas se reconoce que algunas de las piezas se caracterizan por la presencia de tridimita (dióxido de sílice), que producen en la pieza un aspecto más ceroso o *sintético*. En este sentido la asociación de minerales del grupo de los piroxenos (incluidos jadeíta-onfacita-kosmoclór) con albita y otros silicatos, se encuentran asociados

comúnmente a *facies* (características geológicas o mineralógicas) de metamorfismo de alta presión y baja temperatura. En el campo de la investigación geoarqueológica mesoamericana, hasta ahora sólo en el Valle de Motagua (al noreste de la ciudad de Guatemala) se han identificado estas características petrológicas con volúmenes explotables de rocas y minerales (fig. 8).

Otros compuestos inorgánicos, como la caolinita, están relacionados con la alteración hidrotermal de feldespatos potásicos en sistemas geotérmicos. Estas condiciones geológicas sólo se hallan manifestadas en sitios como Los Azufres y Tiámara, en Michoacán; y La Primavera, en el estado de Jalisco, dentro del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) y de manera abundante en diferentes partes de la Sierra Madre

Occidental (fig. 9). Asimismo, minerales opacos como la hematita, pirita o magnetita, así como carbonatos de cobre y óxidos de titanio son comunes en la parte central de Michoacán y su extensión hacia los estados de México, Guerrero, Colima y Jalisco (fig. 9).

Con base en las referencias anteriores, se propone un modelo preliminar de acopio de la materia prima y de piezas para las ofrendas del sitio El Opeño (fig. 10). Este modelo considera las opciones de aloctonía y autoctonía de las piezas y materia prima. Aunque el concepto de autoctonía puede ser ambiguo, se establece para

este caso específico un radio máximo de 200 km, debido a que se trata de espacios fisiográficos que pudieron ser del dominio de los pobladores de El Opeño y de otras comunidades asentadas en la ribera o extensión del paleolago de Chapala de aquellos tiempos. En tal caso, materiales como la jadeíta, onfacita y cuarcita provienen de los yacimientos de jade de la parte central del Valle de Motagua, entre las comunidades La Palmilla y El Manzanal (fig. 8). Asimismo, el caolín empleado para elaborar las piezas de este sitio pudo provenir de fuentes autóctonas, como Los Azufres o La Primavera;

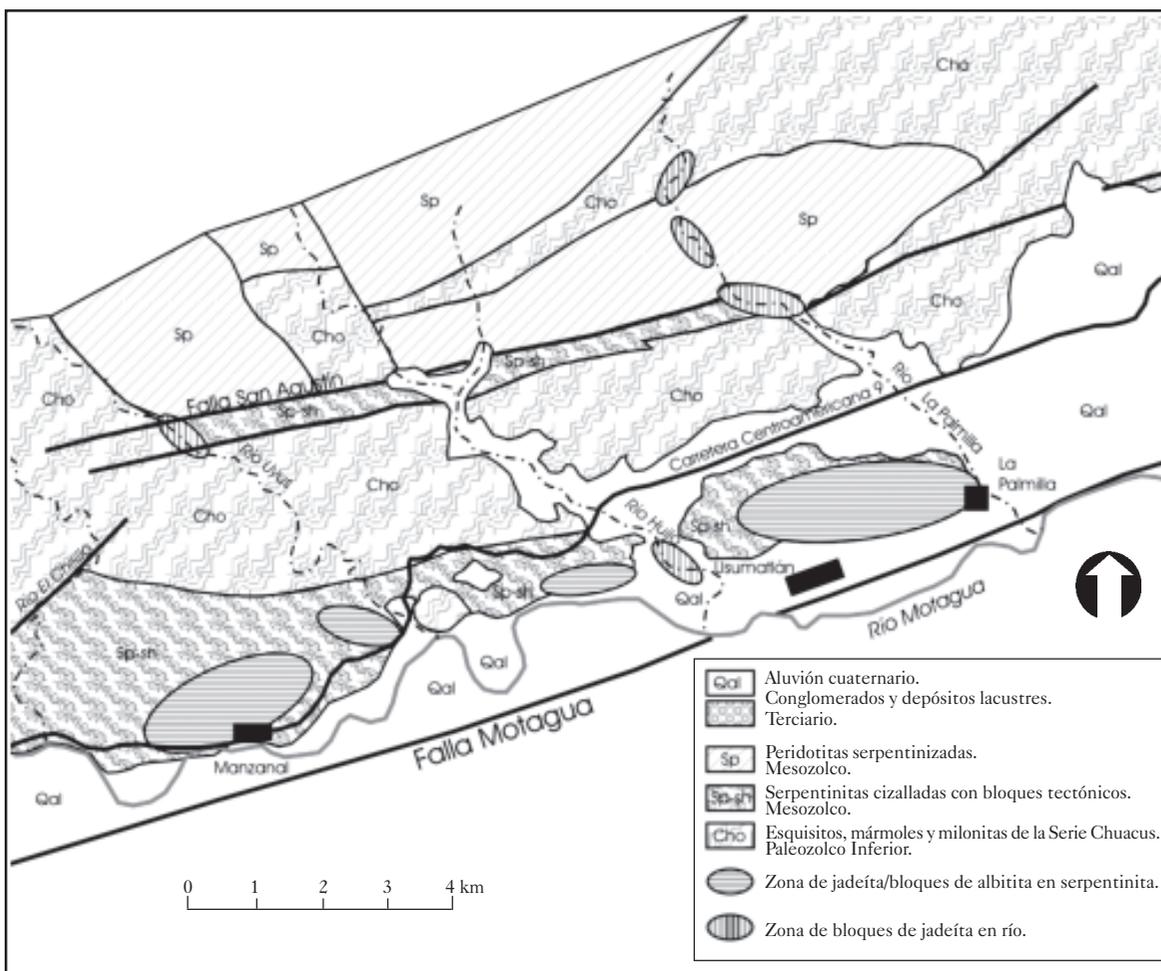


Fig. 8 Marco geológico y localidades de jade en el Valle de Motagua, parte central de Guatemala (modificado de Harlow, 1994).

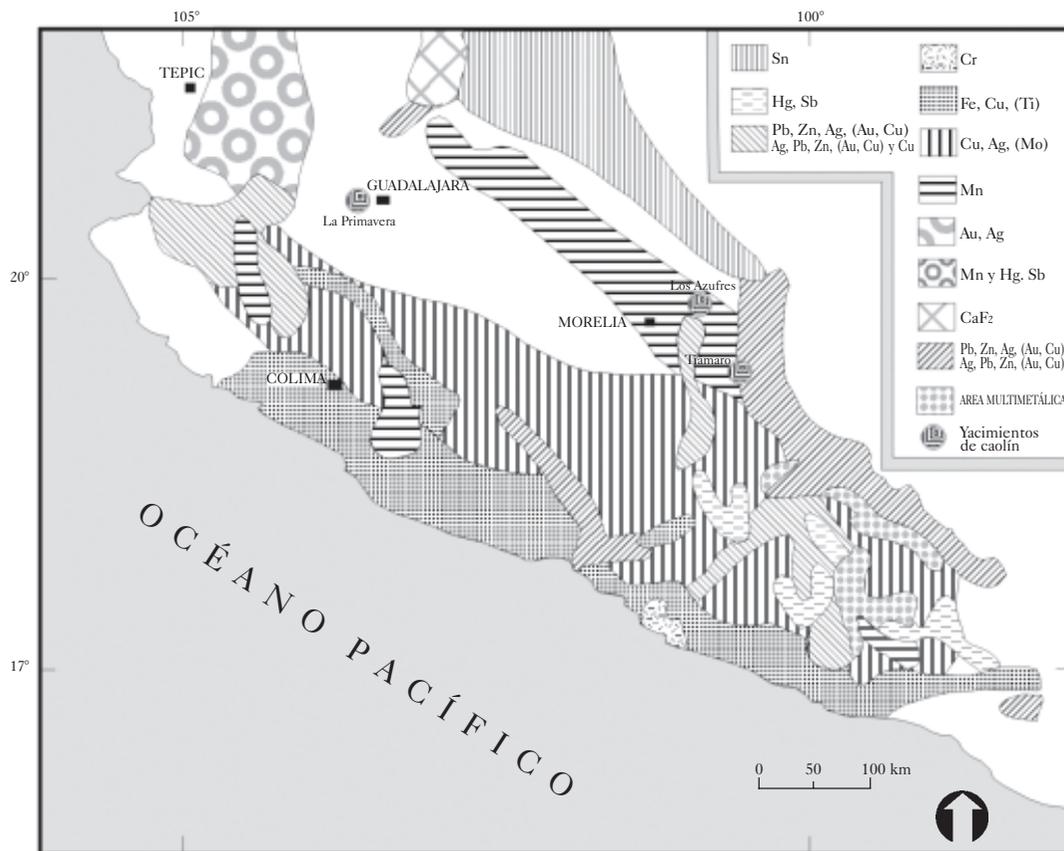
o bien, de las diferentes fuentes de la Sierra Madre Occidental, que en este caso se considerarían alóctonas (fig. 9). El caso particular de los minerales opacos, tanto óxido de hierro y titanio, como sulfuros de cobre, es probable que hayan sido colectados, como materia prima, de la parte central de Michoacán-Estado de México-Colima-Jalisco, que por la distancia y el radio de acción de los grupos asentados en esta parte de Mesoamérica, pueden ser considerados como autóctonos (fig. 9).

Modelo preliminar de acopio y aspecto cultural

Con base en las referencias anteriores se propone un modelo preliminar de acopio de la mate-

ria prima y de piezas para las ofrendas del sitio El Opeño (fig. 10). Este modelo considera las opciones de aloctonía y autoctonía de las piezas y materia prima. Aunque el concepto de autoctonía puede ser ambiguo, se establece para este caso específico un radio máximo de 200 km, debido a que se trata de espacios fisiográficos que pudieron ser del dominio de los pobladores de El Opeño y de otras comunidades asentadas en la ribera o extensión del paleolago de Chapala. En tal caso, ¿materiales como la jadeíta, onfacita y cuarcita provienen de los yacimientos de jade de la parte central del Valle de Motagua?

La materia empleada para elaborar los objetos lapidarios encontrados en contexto arqueológico de tumbas con acceso de escalera del



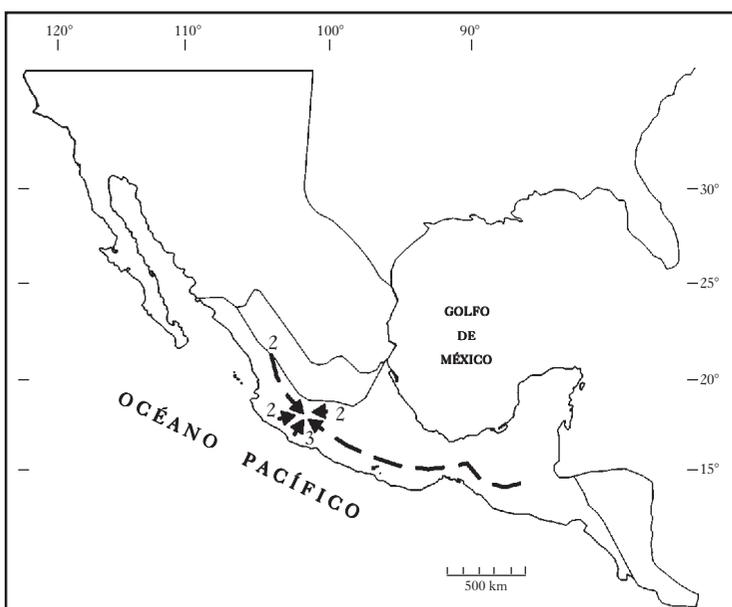
● Fig. 9 Provincias metalogenéticas y depósitos de caolinita importantes de la región suroccidental de la República Mexicana (modificado de Núñez y Torres; en Ostromov y Corona, 1999).

sitio El Opeño, es de tipo alóctono, principalmente, y local (regional). Los materiales alóctonos son aquéllos empleados para la elaboración de cuentas grises y verde esmeralda, de composición jadeítica, a los cuales podrían sumarse las piezas de cuarcita verde y tremolita; debido básicamente a que las rocas con esta composición mineralógica pudieron haberse formado en ambientes sujetos a metamorfismo regional. Las rocas con esta composición mineralógica se hallan, por lo común, asociadas a límites tectónicos de corrimiento lateral, a manera de inclusiones en serpentinitas como las de Guatemala.

Es importante notar que son tres las clases de jadeíta identificadas en El Opeño: 1) gris claro de grano cristalino fino y homogéneo, rico en hierro; 2) gris azulado de grano fino, de química similar al anterior, y 3) verde esmeralda con motas blancas, de composición homogénea, pero de granos más gruesos. Las variaciones de color

verde esmeralda se deben a la concentración de cromo en piroxenos, lo cual genera núcleos coloreados cuya intensidad decrece conforme se empobrece en cromo hasta tener partes de piroxenos incoloros. Los dos primeros tipos de jadeíta recuerdan al aspecto físico de algunas de las hachas recuperadas en el sitio olmeca del Formativo temprano-medio de El Manatí, en Veracruz; mientras que el jade verde esmeralda tuvo un uso más extenso entre culturas mesoamericanas posteriores a la olmeca, incluso en su fase tardía, en La Venta, y en la maya. Esto no significa que no exista contemporaneidad en el uso de ambas clases de jadeíta.

Los materiales considerados de carácter local o regional son: a) caolinita, que está consolidada, pero que es fácil de manejar; b) hematita, distinguible por su color, densidad y propiedades en ocasiones parcialmente magnéticas; c) malaquita, que es un producto de alteración de sul-



● Fig. 10 Modelo de acopio y procedencia de piezas y/o de materia prima empleados en el sitio de El Opeño: 1) jadeíta + cuarcita; 2) caolinita; 3) sulfuros y carbonatos de cobre + óxidos de hierro y titanio.

furos de cobre, y *d*) rutilo y anatasa. Regionalmente existen varias localidades con yacimientos de sulfuros de cobre y superficies alteradas a malaquita. Asimismo, pocos yacimientos de titanio asociados con hierro y berilio han sido reportados en localidades del sur de Michoacán.

Entre las piezas arqueológicas identificadas en El Opeño sobresale la caolinita, que en diferentes cuentas se presenta en colores que varían de gris-azul a verde esmeralda. Lo peculiar radica en su transparencia y su dureza (igual a 2 en la escala de Mohs; 1 a 10).

De manera objetiva y según los datos que se obtuvieron, una gran parte de las piezas analizadas provienen de fuentes de materia prima alóctona. De acuerdo con la información existente, una de ellas, la relacionada con piroxenos (jadeíta, onfacita), probablemente anfíboles (nefrita) y cuarcitas verdosas, está localizada en Guatemala. Mientras tanto, otros materiales como los elaborados con caolinita-nacrita, hematita, pirita, malaquita, anatasa, rutilo, pueden tener una fuente geológica relativamente cercana. En el caso de las arcillas del grupo del caolín, su fuente puede estar asociada con focos termales activos o inactivos, como Los Azufres

o Tiámara, en Michoacán; aunque no debe descartarse la propuesta de aloctonía, en cuyo caso, abundantes yacimientos se hallan en la Sierra Madre Occidental. Asimismo, los objetos elaborados en sulfuros u óxidos de hierro, titanio y cobre, pudieron tener su fuente geológica en la parte centro-sur del estado de Michoacán, donde existen grandes extensiones de depósitos minerales metálicos que se extienden regionalmente hacia los estados de Jalisco, Colima, Guerrero y de México.

En cuanto al aspecto cultural, esta revisión propone interesantes sugerencias, ya que ahora con mayor certeza se puede hablar sobre el origen de materias primas y de objetos arqueológicos que se han obtenido en excavaciones como

las de El Opeño. Sin duda ha sido recurrente utilizar el nombre genérico de piedras verdes o incluso jade, sin tener preciso de qué materiales se habla. Otra situación respecto a la aloctonía de los materiales, es la referencia inmediata al fenómeno cultural, el económico, o al del comercio “a larga distancia”, el cual aclara la presencia de materiales ajenos al área de tumbas y por lo menos propone dos opciones: primera, que las gemas se hayan buscado por su colorido y potencialidad para trabajarlas, al margen de ser materiales tan específicos como la jadeíta. Segunda, que precisamente por conocer la piedra requerida, se tratara de conseguirla localmente o al menos de cambiarla por sustitutos similares como la cuarcita verde, la tremolita, la caolinita u otras; algo pendiente de explicar. De cualquier manera, dicha situación en sí ya señala contactos intergrupales e intrarregionales. Dos actividades que a partir de lugares como El Opeño, y desde tiempos tan antiguos como el Formativo medio (1 500 a 1 000 a.C.) propone operaciones bastante elaboradas, aunque al parecer también cotidianas. Lo anterior, a propósito de que hace tiempo se insiste en juzgar a esa etapa cultural como la de un

momento “en formación”, por parte de los grupos sociales de entonces. Situación que difícilmente se sostiene si se considera que dicha gente no sólo fue capaz de crear un tipo de arquitectura funeraria como la representada por las tumbas mencionadas —con su parangón en el resto del occidente mesoamericano—, sino que además fue capaz de mantener relaciones de diversa calidad y con grupos sociales que habitaban regiones tan alejadas como Guatemala, o aun de Sudamérica. Lo cual hace pensar que la gente de El Opeño estuvo inmersa en una cadena de relaciones intensas; ahora, hay aquí otro argumento con la obtención de estos materiales alóctonos descritos. Este nuevo dato, aunado a la presencia de distintas variedades de concha marina que también se localizaron al interior de las tumbas, así lo confirma. Tal es el caso de *Spondylus*, *Strombus* y *Pinctada*, provenientes de la costa.³ Sin descontar elementos como los recuperados en lugares de La Capacha o Playa del Tesoro, tanto en formas cerámicas, como decoraciones en alfarería. Y todo esto, al margen de los productos que se obtuvieron entre las cercanías territoriales, los cuales pudiesen definir en efecto, un estatus “en formación” (o quizás mejor en integración) en el cual vivían aquellos grupos. Lo más seguro es que dichos momentos “formativos” ocurrieran varios siglos antes.

Acerca de cómo se llevó a cabo el acopio de piezas verdes y de la materia prima (verde, azul, blanco, crema, negro, etcétera) en el sitio El Opeño, se infiere por los argumentos descritos previamente la existencia de especialistas en exploración, explotación o comercialización de obra lapídea. Seguramente existían vías terrestres que comunicaban con Centroamérica y Sudamérica a lo largo del Pacífico mexicano, que serían continuaciones de las rutas propuestas para la zona nuclear olmeca (Coe, 1989), apegado regionalmente al modelo preliminar de acopio propuesto en este trabajo. Los materiales como jadeíta son, en cierta forma, similares a los empleados por los *olmecas* contemporáneos,

por lo que de existir un dominio territorial como se ha manejado tradicionalmente, los *opeños* debieron pagar el tributo por obtención de los materiales preciados y adquirirlos por medio de comerciantes bien organizados. En este sentido, las dimensiones de las piezas (menores de 2 cm) justificarían las distancias por recorrer, siendo el principal objetivo la obtención de piezas o materiales considerados sagrados en esas épocas; tampoco debe descartarse la fuente geológica como un lugar sagrado de donde era imprescindible obtener un grano de esa roca.

Conclusiones

De las excavaciones de 1991, la lapidaria encontrada como ofrenda en tumbas con acceso de escalera en el sitio El Opeño, se caracteriza en general por ser predominantemente de color verde, con algunos objetos que presentan tonos de gris a gris-verde, azul o blanco-crema.

En algunos casos, las piezas clasificadas como jadeíta, particularmente aquéllas de color verde-esmeralda, pueden contener fracciones menores de albita, de tonos más claros o blancos.

En ocasiones las piezas elaboradas con cuarcita verde presentan aspecto ceroso y agregados de tonos crema claro. Esta propiedad puede atribuirse a la presencia del mineral tridimita, que se encuentra asociada y en proporciones menores.

Minerales del grupo del caolín ocurren en tonos que varían de gris a verde y azul-verde, y dejan entrever su importancia entre los materiales constitutivos de lapidaria de este sitio, tanto por los colores como por su fácil tallado; dureza de 1 en la escala de Mohs.

Otros minerales presentes, pero de menor impacto dentro del lote estudiado, son aquéllos reconocidos en piezas de cuentas oscuras y verde claro, como la malaquita y el rutilo.

El grupo de minerales opacos en este sitio está conformado, principalmente, por hematita especular, pirita y magnetita. La pirita suele estar presente con hábitos prismáticos truncados en los vértices, pero también como partes

³ Estas especies marinas fueron identificadas por el biólogo Óscar Polaco Ramos en la SLAA (Melgar Tizoc, 1999).

perfectamente ensambladas de un mosaico o espejo. Las inclusiones de pirita en hematita dan como resultado la formación de malaquita al reaccionar con el ambiente de enterramiento.

Es importante reconocer que el color verde es un referente de la mayoría de las piezas, indistintamente de la composición de los materiales. No obstante, la estadística indica que las piezas en jadeíta y cuarcita son predominantes. Ante esta evidencia, y dado que hasta ahora se reconoce que en el valle del río Motagua se encuentra la única fuente de suministro de jade en Mesoamérica, es claro entonces que el acopio de esta materia prima para El Opeño debió proceder desde Centroamérica, y pasó seguramente por aduanas olmecas o comercializadas a través de especialistas en lapidaria.

En el caso específico de piezas labradas en jadeíta gris, es importante plantear el problema relacionado con la semejanza de su color con las piezas olmecas de El Manatí, Veracruz, 1600-1200 años a.C. (Ortiz y Rodríguez, 1999: 225-253). Los objetos de El Opeño son de unos cuantos centímetros, mientras que las hachas de El Manatí llegan a medir más de 20 centímetros de longitud. Esta relación, ¿tendría qué ver con las distancias por recorrer? Cual fuera la razón, no puede soslayarse la estética excelsa tanto de unas como de las otras, siendo distintivas las formas como cuentas de pulido perfecto o cubos de vértices truncados en El Opeño. En cuanto al yacimiento de este tipo de jadeítas, Harlow (2002) considera que la materia prima es peculiar y fue empleada temporalmente, debido en apariencia a la desaparición del o los bancos de material en Guatemala; esto se explica como un fenómeno natural provocado por la caída aérea de material piroclástico (de un evento volcánico) que sepultó ésta y otras unidades de roca en la región. Este fenómeno debió ocurrir alrededor de los 1000 años a.C., y el yacimiento fue redescubierto, gracias a la acción de lluvias torrenciales de un huracán que azotó a Centroamérica y el Caribe en los años recientes.

Al intentar explicar la procedencia de la materia prima de objetos labrados en caolinita, y dado que las gamas de colores varían de blanco

a crema, de gris a verde, azul y hasta violeta, resulta complicado hacer una propuesta sin tener suficientes argumentos. Hasta este momento sólo es posible decir que el origen de este tipo de materiales es hidrotermal, asociado con la alteración de rocas ricas en feldespatos potásicos al interactuar con fluidos calientes. Estas condiciones geológicas existen en localidades como Los Azufres y Tiámaro en Michoacán, y La Primavera en Jalisco, así como de manera vasta en la Sierra Madre Occidental (Jalisco, Zacatecas, Durango). Por este motivo, la materia prima puede clasificarse como autóctona, en este caso, si la distancia del sitio arqueológico al yacimiento fuera menor de 200 km.

Son considerados como materiales autóctonos, aquéllos de los cuales se sabe que pudieron ser colectados de la franja central del estado de Michoacán y proyectada hacia los estados de México, Guerrero, Colima y Jalisco. Entre éstos se encuentran la hematita, la pirita y la malaquita, así como la anatasa y el rutilo.

Con base en las evidencias recabadas se plantea si en algún momento fue cuestionable la importancia de las sociedades prehispánicas del occidente de México, es bueno dejar asentado que para temporalidades aproximadas a los 1000 años a.C., mientras que en la planicie costera del Golfo de México se erigía la cultura olmeca, denominada “cultura madre” en Mesoamérica, en el occidente era no menos importante el desarrollo de culturas que poseían costumbres propias y una organización social manifestada con el uso de lapidaria, donde predominaba jadeíta, cuarcita y caolinita, además obras como las tumbas con acceso de escalera, predecesoras de las tumbas de tiro; todo eso, y la cerámica con una tipología particular.

Sobre las técnicas analíticas que se emplearon para la caracterización y comparación de materiales, se puede decir que aunque eficientes son destructivas, con excepción de la espectroscopia infrarroja de reflexión (EIRR). Simultáneamente han sido preparadas muestras que podrán ser aprovechadas para el análisis por microscopía electrónica o microsonda, o bien para mediciones por espectrometría por emisión de plasma (ICP-MS) con ablación láser, de

lo cual se espera obtener más argumentos cuantitativos para pulir la propuesta que aquí se plantea.

Como reflexión final, es importante dejar claro que la investigación arqueológica a partir de la lapidaria puede llegar a ser sumamente útil, sobre todo cuando el trabajo se aborda de manera sistemática y se obtiene una caracterización mineral-química precisa. Esto, sin dejar de lado que es una herramienta que debe ser integrada de manera adecuada a información tipológica de cerámica y al estudio sistemático de otros elementos de juicio, tales como textiles, madera, y precisiones con el estudio de polen, esporas, diatomeas, entre otras, además de fechamientos.

Glosario

Conceptos generales

Alóctono: término que se aplica para tipificar aquellos materiales o materia prima de contexto arqueológico, que no existe en las inmediaciones del sitio arqueológico donde se localizan los hallazgos.

Autóctono: término que se emplea en este caso para definir al material o materiales existentes en las cercanías del sitio arqueológico en estudio y con el cual fueron elaboradas piezas arqueológica.

Cuarzo: mineral de fórmula SiO_2 . Es el más abundante en la naturaleza y se encuentra en toda clase de rocas.

Cuarcita: agregado de minerales de cuarzo que está constituido principalmente de cuarzo, pero su origen es principalmente metamórfico, aunque también puede ser sedimentario.

Jade: término genérico que se emplea para describir un agregado de minerales del grupo del piroxeno, formados en condiciones de metamorfismo de alta presión y baja temperatura. Éste puede incluir sólo jadeíta, pero también onfacita, kosmoclor, diópsida. Además, es común encontrar en las piezas verdes y moteadas, mineral albíta, que es un feldespato potásico.

Jadeíta: mineral del grupo de los piroxenos. Un agregado de minerales de jadeíta, que lle-

gue a constituir una masa rocosa que se llamaría jadeitita.

Técnicas analíticas

Difracción de rayos X: la difracción de rayos X (DRX) por la técnica de polvos se basa en el principio de que una muestra pulverizada puede ser bombardeada con rayos X para producir líneas de difracción a partir de los planos repetidos de cristales. Cada especie mineral produce un patrón de difracción característico, por lo que es posible identificar perfectamente al constituyente o constituyentes de una pieza arqueológica.

Espectroscopia infrarroja de reflexión: esta técnica se basa en el principio de la interacción de fotones con las cadenas de elementos en los cristales y las reacciones internas producidas, de tal forma que la intensidad de luz absorbida, transmitida o dispersada en esa reacción está relacionada con el tipo de arreglos; específica de cada mineral o grupo de minerales. Una parte del haz es desviado hasta un monocromador que descodifica la señal y la configura en números de onda (cm^{-1}) en el eje X de un plano y en intensidad de la reflexión en el eje Y. Los espectros de reflexión característicos de minerales (sulfuros, halogenuros, óxidos de valencia baja, carbonatos, sulfatos, nitratos, silicatos) se encuentran en la región lejana y media de infrarrojo del espectro electromagnético.

Mineragrafía: la mineragrafía se aplica en minerales opacos, debido a que no permiten la transmisión de la luz. Se hace incidir un haz luminoso, perpendicular a la superficie, se obtiene una respuesta específica para cada mineral.

Petrografía: técnica que aprovecha la capacidad de los minerales translúcidos de transmitir la luz polarizada, de tipo conoscópico. Los minerales tienen propiedades ópticas que en algunos casos son definitorias o diagnósticas para su clasificación. Además, es posible reconocer texturas y paragénesis (asociación mineral).

Bibliografía

- Banerjee, Arun y Maria Gaida 1999. "Zerstörungsfreie identifizierung von

- Achaeologischen Objekten aus Jade und anderen -grünen Steinen aus Mesoamerika mit Hilfe der IR-reflexionspektroskopie”, *Baessler-Archiv, Neue Folge*, Band XLVII, Berlin, Verlag von Dietrich Reimer, pp. 77-99.
- Bishop, Ronald L., Eduard V. Sayre y Johan Mishara
1993. “Compositional and Structural Characterization of Maya and Costa Rican Jadeites”, en Frederick W. Lange (ed.), *Precolumbian Jade, New Geological and Cultural Interpretations*, University of Utah Press, pp. 30-60.
 - CFE-Comisión Federal de Electricidad
1981. “Mapa de focos termales de la República Mexicana”, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, México, Departamento de Geotermia, inédito.
 - Coe, Michael
1989. “The Olmec Heartland: Evolution of Ideology, Regional Perspectives”, en R. J. Sharer y D.C. Grove (eds.), *The Olmecs*, Cambridge University Press, pp. 66-82.
 - CRM-Consejo de Recursos Minerales
1995. *Monografía geológico-minera del estado de Michoacán*, México, Secofi.
 - Foshag, William
1957. “Mineralogical Studies on Guatemalan Jade”, *Smithsonian Miscellaneous Collections*, vol. 135, núm. 5, pp. 1-60.
 - Gendron, François
1994. “¿Azuelas o propulsores? Sorprendentes jades olmecas”, *Trace, Arqueología*, núm. 25, México, CEMCA, pp. 42-46.
 - Harlow, George
1993. “Middle American Jade. Geological and Petrologic Perspectives on Variability and Source”, en Frederick W. Lange (ed.), *Precolumbian Jade, New Geological and Cultural Interpretations*, University of Utah Press, pp. 9-29.
 - 1994. “Jadeites, Albitites and Related Rocks from the Motagua Fault Zone, Guatemala”, *Journal of Metamorphic Geology*, 12, pp. 59-68.
 - 2002. “Montaña de Jade”, nota publicada en el periódico *El Financiero*, 22 de mayo.
 - Melgar Tizoc, Emiliano
1999. “La tecnología marítima prehispánica en los contactos interoceánicos Andes-Mesoamérica”, *Dimensión Antropológica*, año 6, vol. 17, México, INAH, pp. 7-35.
 - Núñez, Amador y Vicente Torres
1984. “Análisis metalogenético regional de la porción suroccidental de la República Mexicana”, tesis profesional, México, Facultad de Ingeniería-UNAM.
 - Oliveros, Arturo
1974. “Nuevas exploraciones en El Opeño, Michoacán”, en B. Bell (ed.), *The Archaeology of West Mexico*, Jalisco, México, pp. 182-201.
 - 2000. “El espacio de la muerte. Hacedores de tumbas en el México prehispánico”, tesis doctoral, México, ENAH-INAH.
 - 2004. *Hacedores de Tumbas en El Opeño, Jacona, Michoacán*, Jacona, Michoacán, H. Ayuntamiento de Jacona, El Colegio de Michoacán.
 - Oliveros, J. Arturo y P. Magdalena de los Ríos
1993. “La cronología de: El Opeño, Michoacán: Nuevos fechamientos por radio carbono”, *Arqueología*, segunda época, núms. 9-10, enero-diciembre, pp. 45-48.
 - Ortega-Gutiérrez, Fernando, Luis Mitre-Salazar, Joaquín Roldán-Quintana, Jorge Aranda-Gómez, Dante Morán-Zenteno, Susana Alaniz-Álvarez y Ángel Nieto-Samaniego,
1992. *Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana escala 1:2'000,000*, México, UNAM-CRM.
 - Ortiz, Ponciano y Maricarmen Rodríguez
1999. “Olmec Ritual Behavior at El Manatí: A Sacred Space”, en D.C. Grove y R. Joyce (eds.), *Social Patterns in Pre-Classic Mesoamerica*, Washington, D.C., Dumbarton Oaks Research Library and Collection, pp. 225-253.

- Ostroumov, Mikhail y Pedro Corona
1999. *Ensayo metalogenético del estado de Michoacán. La Carta Geológica de Michoacán*, México, UNSNH-IIM, pp. 93-111.
- Panczner, William
1987. "Minerals of Mexico", Van Nostrand Reinhold Company.
- Reed, Christina
2001. "Cracking Ancient Quarry Codes", *Geotimes*, January, 8.
- Robles-Camacho, Jasinto
2006. "Uso de técnicas petrológicas para identificar la procedencia de la materia prima de piezas arqueológicas del sitio olmeca de La Merced, elaboradas con serpentinita", tesis doctoral, posgrado en Ciencias de la Tierra, México, UNAM-Instituto de Geofísica, 187 pp.
- Robles-Camacho, Jasinto y Ricardo Sánchez-Hernández
2004. "Mineralogical Characterization and Raw Materials Provenance of Some Archaeological Masks from Mexico", *Applied Mineralogy. Development in Science and Technology*, International Council for Applied Mineralogy do Brasil, ICAM-BR, vol. 1, pp. 371-372.
- Robles-Camacho, Jasinto, Hermann Köhler, Peter Schaaf, y Ricardo Sánchez-Hernández
2002. "Referencias isotópicas y patrones geoquímicos de un lote de serpentinitas arqueológicas del sitio olmeca de La Merced, Veracruz, México", III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, noviembre, Puerto Vallarta, Jal., pp. 240-241.
- Sahagún, Bernardino
1999. *Historia general de las cosas de la Nueva España*, México, Porrúa.
- Schmitter, Eduardo y Rebeca Martín del Campo
1980. *Glosario de especies minerales*, México, UNAM-Instituto de Geología.
- Sinkankas, John
1975. *Gemstones of North America*, vol. I, Van Nostrand Reinhold Company.
- Ward, Fred
1987. "Jade-Stone of Heaven", *National Geographic*, 172, pp. 282-316.
- 1996. "Jade. Gem Book Publishers", *The Fred Ward Gem Series*.

