

## **Lapidaria mesoamericana, una reflexión sobre los abrasivos posiblemente usados para trabajar los chalchihuites duros\***

Muchos instrumentos líticos hallados en el área cultural mesoamericana causan asombro por su excelente manufactura. Las técnicas lapidarias prehispánicas pueden ser estudiadas en piezas terminadas o no terminadas, lo que permite dilucidar el proceso de manufactura, particularmente por lo que se refiere al desbaste y al pulimento. Esto conduce a considerar la utilización de abrasivos, en particular el diamante masivo o en cristales, el corindón, el topacio, el esmeril, los granates, la arena cuarzosa, la diatomita y la hematita masiva o en cristales, para alcanzar la perfección en la manufactura de muchas de tales piezas. El autor propone que el conocimiento y la aplicación en lapidaria de los materiales mencionados debió haber conferido gran prestigio social.

### **Planteamiento del tema y objetivo**

Aun cuando los minerales abrasivos en el área mesoamericana, su localización y aprovechamiento han sido estudiados por diversos investigadores nacionales y extranjeros, considero que el tema merece ser estudiado con mayor detalle. Hasta el presente no he hallado estudio alguno que trate específicamente acerca del uso de abrasivos en la lapidaria prehispánica y los posibles materiales utilizados para ello en las antiguas culturas del área mesoamericana. Este hecho me motivó para ordenar la información que venía reuniendo desde hace varios años y formular algunas inferencias para la historia cultural de Mesoamérica. Considero que los investigadores aún no hemos estudiado a fondo aspectos como los abrasivos usados, fuentes de abastecimiento y la trascendencia sociocultural de su empleo en la lapidaria de materiales duros en las culturas mesoamericanas, temas que intento seguir investigando (dentro del campo de mis profesiones de ingeniero de minas y arqueólogo).

El conocimiento de las propiedades físicas de rocas y minerales, y su aprovechamiento por el hombre en instrumentos tallados, se inició desde el periodo Paleolítico temprano, primeramente en África, luego en Europa, Asia y Oceanía (Burenhult, 1993: 14-15). Este conocimiento elemental de algunas rocas y minerales fue parte del acervo cultural de los grupos humanos que poblaron América inicialmente y abarcaron el área mesoamericana. Como es sabido, desde la etapa lítica, es decir desde los periodos Arqueolítico y Cenolítico infe-

\* Agradezco a la maestra Margarita Carballal Staedtler, al ingeniero Amado Mesta Howard, al maestro Javier Balbás, al ingeniero Martín Sutti, a Amalia L. de Ruiz, a Amalia Salcedo M., a Editorial Raíces y a los editores de la revista *Arqueología*, el apoyo que me han brindado en mis indagaciones sobre abrasivos

rior entre 30 000/35 000 a 7 000 a.C. (Lorenzo, 1967: 28-37), se usaron *instrumentos tallados* característicos de cada periodo cultural. Con la acumulación de experiencias, este conocimiento que tenían los hombres de las rocas y sus propiedades se incrementó al paso del tiempo. En tales circunstancias este conocimiento de los primeros pobladores del territorio mesoamericano ya era considerable, pues debe recordarse que los emigrantes asiáticos de los que descendían ya eran capaces de cazar mamutes lanudos, bisontes, lobos, osos y otros grandes mamíferos pleistocénicos valiéndose de lanzas, algunas con puntas líticas talladas. Usualmente tales puntas estaban hechas en alguna de las muchas variedades de cuarzo microcristalino o en obsidiana.

Necesariamente, el hombre que producía tajadores, raspadores, lascas cortantes, puntas de proyectil, perforadores, etcétera, ya había desarrollado un conocimiento práctico sobre las propiedades físicas más importantes de las rocas y minerales: la *tenacidad* (la resistencia a doblarse, rasgarse, romperse y a ser triturado) y la *dureza* (la resistencia de la superficie de dichos materiales a ser raspados). El hombre comprendía que hay piedras más duras y tenaces que otras. También podía alterar la forma de las piedras asestándoles golpes o aplicándoles presión en ciertos puntos, de cierta manera y con determinada herramienta, y fue así como desarrolló las técnicas para obtener lascas útiles de algunos tipos de rocas y minerales. Cabe aclarar que tenacidad y dureza son características más constantes y mejor determinadas mientras más homogéneas sean las sustancias, por ello se determinan y reconocen más fácilmente en minerales que en rocas. Por esta razón la dureza de las rocas mencionadas en este ensayo se indica en muchos casos como “dureza práctica” para el trabajo lapidario, pues no es posible determinarla de manera absoluta.

En el caso de *instrumentos pulidos*, el conocimiento de las propiedades físicas de las rocas que habrían de ser utilizadas tenía mucho que ver con el grado de resistencia a la *abrasión*. Aprender a desbastar y pulir rocas y minerales por abrasión debió ser un proceso cuyo desa-

rollo se alcanzó quizá más tardíamente que el de tallado. Desbastar y pulir también requirieron de inventiva, aguda observación, destreza y experimentación. Además, la predisposición a experimentar tuvo que ser muy importante, así como la disponibilidad de materias primas adecuadas. He podido ordenar estas ideas tomando en cuenta las durezas características conforme se manejan en la mineralogía.

Debo aclarar que no he pretendido estudiar la tipología de los productos lapidarios ni los procedimientos detallados de forja, talla, desbaste, alisamiento y lustre necesarios para alcanzar la forma y acabado de los mismos, lo cual ya fue analizado ampliamente por la doctora Lorena Mirambell (1968) y los doctores Easby e Easby (1953). Tampoco he buscado estudiar la iconografía de los productos lapidarios aludidos, sino observar los efectos de los abrasivos que pudieron o debieron ser usados —en atención a su dureza y disponibilidad— sobre los principales chalchihuites duros aprovechados en el área mesoamericana.

## El método de investigación

Para el presente ensayo el método de investigación consistió en reunir la información mineralógica disponible, principalmente de instrumentos líticos mesoamericanos en museos, particularmente de los que llaman la atención por la gran dureza de la materia prima y su excelente calidad de manufactura. En este punto reuní información sobre la dureza absoluta y relativa de la materia prima de los instrumentos líticos, así como de los abrasivos posiblemente usados. Tras de consultar la bibliografía consignada en este ensayo, me dispuse a reunir ejemplares geológicos de chalchihuite duro (jadeíta del grupo de los piroxenos), cuarzo, topacio, corindón y diamante para hacer pruebas de dureza, desbaste y esgrafiado. Con corindón y diamante pude hacer pruebas de dureza y esgrafiar sobre la muestra geológica de chalchihuite duro, como es la jadeíta. Al analizar los resultados llegué a los puntos presentados en el epílogo de este ensayo.

## La lapidaria en el Viejo Mundo

En el Viejo Mundo la utilización de rocas y minerales fue analizada ampliamente desde hace más de medio siglo, pues Sergei A. Semenov la estudió en 1957, pero su libro fue traducido y publicado en Londres en 1964. En sus muy completos estudios incluyó el tallado y las técnicas mencionadas en el presente ensayo. Para estudiar el desarrollo de la lapidaria en el área mesoamericana resulta muy interesante lo señalado por dicho investigador: que durante tiempos neolíticos, en Siberia ya se utilizaba esmeril en placas naturales (lajas) para cortar piedras duras (Semenov, 1964: 71). Tal afirmación permite considerar que, de hecho, el conocimiento de estos materiales es muy antiguo, y posiblemente llegó a América con los hombres provenientes de Asia.

Durante el periodo Neolítico (9 000 a 6 400 a.C.) en Asia occidental se registra un incremento en el número y diversidad de diseños de cuentas para adorno personal (Wright y Garrard, 2003: 267). Los talleres de lapidarios del caso fueron hallados junto con evidencias del inicio del cultivo de plantas y la cría de ganado ovino y caprino. Es de suponer que en esas culturas se utilizaron cuentas hechas en materia lítica local poco especial, pues se reporta arenisca litificada con dureza de entre 6 y 7 de Mohs, que no es necesariamente uniforme ni en su aspecto visual ni en su dureza; también se reporta el uso de concha (dureza aproximadamente 3 de Mohs), mármol verde, (dureza de 3 de Mohs) y malaquita del Sinaí (dureza de 3.5 a 4 de Mohs). Los investigadores mencionan el uso de herramientas muy pequeñas de arenisca (posiblemente lajas) (*ibidem*: 274). Los autores no mencionan el uso de abrasivo tamaño arena, aunque posiblemente se haya usado; es de suponerse que bien pudo ser la propia arenilla de cuarzo, producida mediante la trituración de la roca arenisca, o bien recolectada como producto de la misma arenisca a la intemperie. También se considera el uso del taladro de molinete, aunque no se menciona en la investigación, a juzgar por la forma de las cuentas y sus perforaciones, según se perciben en las ilustraciones

(*ibidem*: 272). Un aspecto que llama la atención de estos autores es que se pudo inferir el probable uso de cuentas para mostrar públicamente la propia identidad al interior y al exterior de la sociedad.

La gran elaboración y buena manufactura de las más antiguas obras de arte e instrumentos rituales y suntuarios de China es muy impresionante. A quienes se interesan por la América media y su pasado cultural les parecen particularmente atractivas, por estar bajo el sutil embelezo de los chalchihuites, con su particular, ancestral y mágica connotación relacionada con los “mantenimientos”, que proviene de nuestras raíces culturales mesoamericanas. En México, las obras de jade de China tienden a ser muy admiradas por su minuciosa elaboración, y más aún al saber que desde el quinto milenio a.C. los antiguos chinos ya utilizaban seis técnicas diferentes para tallar: taladrar, cortar con disco, “aserrar” con cordel, limar con escofina, desbastar por abrasión con “punta” (buril) y desbastar por abrasión con “navaja” (sierra recta) (Sax *et al.*, 2004: 1413), y estas técnicas les permitían obtener productos muy elaborados y atractivos estéticamente para nuestra idiosincrasia actual.

Otros productos lapidarios, también muy llamativos para quienes tenemos cultura occidental, son los *intaglios* y *camafeos* —entalladuras en hueco los primeros y en relieve los segundos—. Los *intaglios* son particularmente llamativos y llegaron a usarse como sellos al ser presionados contra lacre u otras sustancias semejantes. Los *intaglios* tal vez se produjeron primeramente en Mesopotamia, con las civilizaciones elamita y sumeria. En Siria se usaron a partir de la Edad del Bronce tardía (Rosenfeld, Dvorachek y Amorai-Stark, 2003: 228). En el primer milenio a.C. ya fueron usados en las culturas de Asia menor y el Egipto faraónico, donde se fabricaron en cuarzo, amatista y cornalina (un tipo de calcedonia), y después en cerámica esmaltada. En las culturas de Creta primero fueron hechos en esteatita, y desde el siglo XVII a.C. en calcedonia. En las culturas griega y romana hubo afición por tallar *intaglios*, artesanía que alcanzó muy alto nivel artístico y pronto se

dispersó por gran parte de Europa. Esto incrementó la demanda y provocó mayor producción hasta alcanzar un verdadero auge con los grabadores florentinos y alemanes en el siglo XIV. Posteriormente se vio un nuevo auge en las culturas europeas a finales del siglo XIX y principios del XX.

J. D. McGuire (1896) indica que a pesar de la falta de pruebas satisfactorias, William St. C. Boscawen asevera que el taladro de diamante fue usado por los lapidarios babilonios en tiempos muy tempranos, técnica muy probablemente tomada de Egipto (*ibidem*: 740). Aunque tal aseveración no incluye pruebas claras y contundentes, es congruente con los razonamientos que expongo más adelante sobre dureza y tenacidad de los materiales. Considero también que sus comentarios e inferencias resultan de gran interés y tiene los antecedentes que le hacen respetable en este campo.

El panorama completo en cuanto al Viejo Mundo incluye los aspectos de lapidaria estudiados por arqueólogos, historiadores y otros investigadores afines, por ello consideré que no tendría lugar comentario alguno de mi parte, pues sería repetitivo en aspectos como las formas y los procedimientos de trabajo. La obra de la doctora Mirambell (1968) me permitió conocer la situación que guarda este campo de investigación y me permitió concluir que yo podría contribuir mediante comentarios sobre aspectos mineralógicos y de la dureza de los materiales. Por esta razón circunscribo mis comentarios a la dureza de los materiales y a formular observaciones e inferencias relacionadas con la dureza de los abrasivos y materiales sobre los que se aplicaron en las culturas del área mesoamericana, y a manera de hipótesis apunto algunas ideas al considerar la dureza de los materiales empleados en lapidaria, con los que realicé una experimentación sencilla.

Dejo constancia del interés que para la arqueología de la región tiene el considerar líneas de investigación semejantes a algunas de las ya realizadas sobre la lapidaria en el Viejo Mundo, ya que parecen sugerir campos inexplorados por los arqueólogos interesados en Mesoamérica.

## Las investigaciones sobre lapidaria mesoamericana

Fray Bernardino de Sahagún incluye en su obra datos sobre lapidaria y minerales, información que ya fue analizada y difundida por Lorena Mirambell, quien indica que “Sahagún es el cronista que más referencias presenta acerca de este tipo de trabajo [lapidario] y de los materiales empleados” para ello (Mirambell, 1968: 9). Añade que Sahagún menciona diversos materiales que tallaban los lapidarios mesoamericanos, entre ellos el cristal de roca (dureza 7 de Mohs), la amatista (7 de Mohs), la esmeralda (7.5 de Mohs) y otros con esmeril (con dureza práctica de entre 7 y 9 de Mohs) aplicados con un instrumento de cobre templado (2.5 a 3 de Mohs) o pedernal partido (7 de Mohs).

La importancia concedida a los materiales que necesitaban los lapidarios quedó registrado históricamente por fray Diego Durán, quien relata que el abastecimiento de “arena apropiada para labrar las piedras” y “esmeril para bruñirlas” fue pretexto suficiente para que Motecuhzoma diera guerra y conquistara la provincia de Quetzaltepec y Tototepec (Durán, 1984, t. II: 425).

La investigación de la doctora Mirambell (1968: 9-20) indica lo que respecto a piedras y lapidaria mencionan Durán, Beaumont, Landa y Clavijero, además de lo que añadieron en esta materia Zelia Nuttall (1901), Valliant (1930), Kidder (1946), Rubín de la Borbolla (1948), Lorenzo (1965), Foshag (1954), Barber (1954), Drucker (1955), Piña Chan (1960), Covarrubias (1961), Stirling (1961), Easby (1961), Bernal (1950), Heizer (1957). También analiza lo reportado por Rau (1868), McGuire (1892), Knockblock (1939), Lucas (1948), Williams, Beck (1935), Leroi Gourhan (1945-1948), Blackwood (1950), Hansford (1950), von Koenigswald (1956) y Balser (1961). Considero que es el trabajo específico más completo sobre el tema, y desde luego imprescindible para el presente ensayo, de manera que una buena parte de su bibliografía también me ayudó en mis indagaciones.

Francisco Javier Clavijero menciona que además de la piedra común de sus edificios los mexicanos labraban el mármol, el jaspe, el alabastro y la obsidiana, de la que hacían espejos, navajas para armas y barberos. Además conocían y trabajaban las piedras, lo que se hacía con cierta arenilla, mas no podría hacerse sin instrumentos de pedernal o cobre duro. También dice que las piedras más comunes eran las esmeraldas (Clavijero, 1964: 258), pero no explica cómo las pulían. Considero que al decir “arenilla” bien podría referirse a la de esmeril, y por lo que toca a esmeraldas aludir a “chalchihuites”. Al principio de su libro menciona “que había y hay diamantes” (Clavijero, 1964: 10); en náhuatl dicese “tlaquauac técpatl” según Molina (1992: 45), o tlacuauhtécpatl (De Wolf, 2003: 265). Clavijero no fue especialista en minerales, pero sí un erudito honorable.

Una investigación muy completa sobre los métodos de perforación primitivos es la de J.D. McGuire (1896), pues incluye información un tanto dispersa de los territorios de Aridamérica, Oasisamérica y Mesoamérica (López Austin y López Luján, 1996: 16). McGuire, abarcó aspectos de la talla, pulimento y perforación de piedras duras, y en los casos de chalchihuites duros que presenta indica que debieron perforarse con corindón (McGuire, 1896: 632). Menciona casi siempre que debieron usarse tubillos o varillas de cobre, y sólo al describir la técnica egipcia de perforación menciona que el profesor Flinders Petrie infirió el uso del taladro con diamantes engastados (arenilla) en el interior y en el exterior del tubillo, técnica por demás admirablemente moderna; por desgracia, no muestra ilustraciones propias o de F. Petrie (*ibidem*: 641). Tras de numerosas ilustraciones y casos concretos se puede decir que este investigador favorece la explicación del uso de arena de cuarzo como abrasivo, con taladro sencillo de varilla de madera o tubular de cobre, pero menciona que la madera muy suave o muy dura no favorecen la técnica de perforación (*ibidem*: 662, 672), aspecto que ahora se conoce bien porque la herramienta dura es consumida por el abrasivo sin cumplir tan eficientemente la operación de perforación. Aunque McGuire respaldó sus

aseveraciones con experimentos, no manejó el aspecto de la tenacidad de los materiales, idea que ahora es común y permite explicar mejor el proceso de abrasión. La idea de la tenacidad aplicada a materiales líticos y metales me parece que no era de uso extensivo cuando dicho autor llevó a cabo sus experimentos. Sin embargo, y esto me parece un aspecto tecnológico interesante, McGuire documenta el uso del taladro de bombeo (*pump drill*) entre los indios pueblo de Nuevo México (*ibidem*: 733), y etnohistóricamente convendría investigar su aplicación en el área mesoamericana.

El tema específico de los chalchihuites fue abordado por Zelia Nuttall (1901), y entre sus resultados menciona primeramente la palabra náhuatl que significa lapidario: *chalchihui iximatqui*, literalmente “aquel que trabaja el chalchihuite”. Más importante aún fue haber identificado localidades donde se tributaban piezas trabajadas en chalchihuite, así como un listado de poblaciones asociadas a la tributación con chalchihuites según la Matrícula de Tributos del emperador Moctezuma, para concluir con un listado de poblaciones que incluyen la palabra, o la raíz de chalchihuite (*ibidem*: 230-237), asuntos todos importantes para la historia de la lapidaria mesoamericana.

La lapidaria en el arte popular precolombino fue analizada por estudiosos como Daniel Rubín de la Borbolla. Su obra, publicada de manera póstuma, deja ver una erudición que le permitió señalar y evaluar, aunque someramente, diversos aspectos del tema, entre ellos identificar los materiales aprovechados que calificó como duros: el pedernal, la obsidiana, la jadeíta, la malaquita, la diorita y las piedras verdes en general, turquesa, tecalí, ámbar, mica, cristal de roca, cuarzo amatista, ópalos, mármoles, azabache, hueso, perlas y caracoles (Rubín de la Borbolla, 1993: 17). Mencionó también el gran ingenio de los artesanos para labrar, dar forma y volcar su sensibilidad en las piedras más duras y resistentes descubiertas en Mesoamérica, como la jadeíta, la pirita, el cuarzo, la amatista, el cristal de roca, la andesita y el basalto (*ibidem*: 32). No mencionó abrasivos como tales.

Como han señalado diversos investigadores citados por Mirambell (1968), parece oportuno mencionar que para pequeñas horadaciones en las piedras duras deben haberse usado varillas de madera, hueso, tallos tubulares o sólidos de ciertas plantas como carrizo y bambú, con los que se presionaba, a través de un movimiento giratorio, algún abrasivo (arenoso o limoso) contra el material a perforar, junto con agua añadida al pequeño barreno que se estuviera haciendo, pues el agua expulsaba el material ya triturado junto con el abrasivo; este último se sedimentaba y se podía recircular. En el caso de cortes rectos, el abrasivo se presionaba mediante un cordel tensado (o mediante una correa de cuero o tablilla de madera o piedra tabular) del material a cortar junto con agua corriente, posiblemente iniciado con un trazo recto esgrafiado. Cabe señalar que no parece difícil que el lapidario mesoamericano haya conocido la innovación de los lapidarios romanos, quienes realizaban cortes rectos mediante el taladro de molinete horizontal, desplazado también horizontalmente (Rosenfeld, *et al.*, 2003: 228); en este caso el abrasivo también pudo haber sido recirculado. Para cortes rectos pudieron haberse usado piezas delgadas tabulares, de esmeril o arenisca, ya citadas. Como todas las gramíneas, el carrizo y el bambú contienen sílice en sus fibras exteriores, lo cual proporciona alguna capacidad para pulir o abrillantar superficies por sí misma, tanto más si se aplica sobre materiales idóneos. Igualmente, se ha mencionado a la obsidiana como abrasivo (5 a 5.5 grados de Mohs) para materiales suaves, y todas estas técnicas pueden haberse aplicado sobre los materiales que dieron base a las industrias de la concha, el cuerno y el hueso.

En el contexto tecnológico mesoamericano, para que un abrasivo arenoso, limoso o más fino aún diera buen resultado, debía ser aplicado manualmente, con presión y movimiento adecuados, mediante una herramienta con superficie resiliente y en un medio que desalojara el desperdicio a medida que se produce. El medio más común para ello es el agua, pero también puede ser savia, aceite o aun aire. Si el desperdicio del material que se perfora o se pule no

es desalojado, puede formarse un medio denso que no favorezca la acción del abrasivo.

El uso de pequeños tubos (2.5 a 3 Mohs) de cobre templado y esmeril (6 a 9 Mohs) mencionados por Sahagún (Mirambell, 1968: 9-10; Easby e Easby, 1953: 13-14) obviamente es efectivo, siempre que se trate de abrasivos de baja dureza o muy fina granulometría, y el material a perforar también sea de baja dureza. De lo contrario no se logra de manera práctica el objetivo porque el propio tubo se desgasta fácilmente. Además, debe recordarse que la disponibilidad plena del cobre sólo se dio al difundirse las técnicas de la orfebrería y la metalurgia extractiva procedentes de América del Sur (Hosler, 1994: 45), hacia 600 d.C. También pudo transcurrir un largo tiempo para que se practicara y popularizara la producción de tubos de cobre, pues no se han reportado arqueológicamente en contextos culturales mesoamericanos tempranos. Llama la atención que la abundancia de cobre entre los tarascos no parece haber contribuido a difundir el uso de este material para elaborar más objetos de cobre martillado como tubos, puntas de lanza y herramientas agrícolas por lo menos desde el periodo Clásico; quizá esto se debió a una inercia cultural enfocada al aprovechamiento de instrumentos líticos tallados. En relación con los tubos de cobre, conviene tener presente que el abrasivo también desgasta el material (aun templado), por lo que este metal trabaja mejor con abrasivos y sobre materiales suaves. Además la herramienta, tubular o no, habrá de ser resiliente para que el abrasivo no la desgaste con facilidad. Estas condiciones son más importantes cuando el lapidario trabaja con material de alta dureza como la jadeíta (o chalchihuites duros en general) y el cuarzo. El borde de una caña usada para perforar se reblandece con al agua y adquiere una leve resiliencia que trabaja más efectivamente que el cobre cuando se usa un abrasivo duro contra un material duro.

Del pasado cultural indígena mesoamericano quedan en los museos muchos instrumentos admirables, cuya elaboración solamente se explica como resultado de la aplicación de los abrasivos y técnicas indicadas. Los instrumentos así

producidos pueden ser admirados en museos como el Nacional de Antropología, el Tamayo de Oaxaca, el de la Cultura Maya, etcétera.

En la época prehispánica, quienes tuvieron empeño en esculpir en piedra o en mineral, o en pulir la superficie de esos materiales, tuvieron que proceder pragmáticamente, haciendo pruebas con una amplia gama de arenas, gravas, materias primas de gránulo más fino y fibras vegetales silicosas, hasta dar con los materiales que ofrecían buenos resultados. La piedra pómez, por su abundancia y amplia distribución en el área mesoamericana, fue muy utilizada en construcción y también debe haberse utilizado como abrasivo corriente, no muy efectivo pero sí abundante. Parece evidente que los instrumentos de basalto alveolar, llamados “alisadores para construcción”, sirvieron para alisar superficies estucadas de construcciones.

Imitando manualmente el trabajo de la naturaleza, el hombre del Protoneolítico debió haberse iniciado, con muchos ensayos y errores, en la producción de los primeros instrumentos líticos pulidos. Entre ellos encontramos las toscas y pesadas vasijas realizadas en tobas y las hachas elaboradas en diversas rocas ígneas, que ahora pueden ser vistas en los museos. Tales recipientes pudieron servir para almacenar semillas a los miembros de grupos humanos con modo de vida de recolector-cazador (de recorridos estacionales), como parte del lento proceso hacia la sedentarización y adopción de la agricultura. Esta etapa de desarrollo se inició unos 5 000 años a.C. y concluyó con el inicio del periodo Preclásico en 2 500 a.C. De esta etapa del desarrollo cultural mesoamericano han quedado vasijas hechas en tobas con dureza diversa, entre 3 y 4 grados de la escala de Mohs. Cave hacer notar que los componentes de estas rocas son de mayor dureza individualmente, pero la cohesión entre partículas de polvo o ceniza volcánica que constituyen la roca es diversa. Esta condición permite decir que la dureza de la roca como tal es diferente e inferior a la dureza de cada mineral que la constituye. Las tobas están formadas por material clástico volcánico expelido como partículas de polvo o ceniza volcánicas (en ocasiones depositadas en agua) y

suelen tener piroclastos, son comunes las de carácter intermedio. Para fines prácticos la dureza de esta roca puede considerarse entre 6 y 7 de Mohs, ya que sus componentes (feldespatos, cuarzo, micas, piroxenos y anfíboles) no están en proporción fija. La forma y acabado de tales vasijas permite ver que se alisaron principalmente con arena cuarzosa (cuya dureza para efectos prácticos es de grado 7 de Mohs).

Algunos trabajos arqueológicos realizados evidencian que en el periodo Formativo temprano (2 500-1 000 a.C.) ya hubo producción lapidaria interesante. En Oaxaca, al inicio de dicho periodo ya se perforaban piezas de grava y guijarros pequeños, que por su color, forma y tamaño resultaban atractivos y eran usados como cuentas o pendientes para adorno personal. Tales piezas eran seleccionadas en los cauces de arroyos en Gheo Shih, Oaxaca (Evans, 2004: 92; Flannery y Spores, 1983: 23-25). El trabajo de horadación y pulimento pudo haber sido hecho con arena cuarzosa fina, frotada con movimiento giratorio contra la piedra mediante un trozo de caña o madera. Esta es la misma técnica practicada desde tiempo inmemorial para hacer fuego con madera y yesca, mediante un molinete accionado con ambas manos o mediante la cuerda de un arco.

Para estos tiempos del periodo Formativo temprano también se registran los espejos líticos con superficie reflejante, cóncava y muy finamente pulida (Evans, 2004: 103), posiblemente hechos con arena de corindón o esmeril rico en corindón, frotada con el mecanismo de molinete ya descrito, pero con plataforma de presión varias veces mayor en diámetro que el de las varillas de madera usuales para hacer fuego. A esta fase de desbaste debió seguir el pulimento con arena más fina y, finalmente, con tierra diatomácea, mientras el brillo se debió dar con hematita terrosa. En el caso de las superficies convexas, la pieza activa pudo haber sido la que después se usara como espejo convexo. Los espejos eran hechos en piritita, magnetita, hematita compacta, ilmenita u obsidiana, materiales cuya dureza se encuentra en el orden del grado 6 de la escala de Mohs. Estos materiales pudieron ser desbastados y pulidos

con arena diamantífera, de corindón, de esmeril, de topacio, cuarcífera y algunos otros abrasivos hasta llegar a la fase de pulimento, que pudo darse con la arena de los mismos materiales pero con granulometría muy fina, para finalizar con tierra diatomácea y hematita terrosa. Las superficies reflejantes de espejos convexos debieron lograrse manteniendo estas piezas como el elemento activo durante su fabricación. Los espejos perfectamente planos son los cristales naturales de hematita especular, normalmente de unos pocos centímetros, y para lograr espejos mayores de hematita se unían cristales de especularita montados en un soporte, pero la imagen reflejada debió fragmentarse.

Para el periodo Formativo medio existen incontables instrumentos de la cultura olmeca esculpidos mediante la técnica de desbaste con abrasivos, en muchos casos acabados con abrasivos finos y hasta con tierra diatomácea y hematita, con el fin de presentar un pulimento muy terso y hasta brillante. En muchos casos estas piezas se encuentran grabadas con interesantes diseños de trazos finos y fluidos, a veces con grafismos. Tales esculturas e instrumentos están realizadas en diversas clases de chalchihuites como la jadeíta, en sus diversas tonalidades de colores verde, verde con blanco, verde con marrón, etcétera, cuya dureza es de grado 6.5 de Mohs (la jadeitita presenta durezas algo menores a la jadeíta) Por su elevada dureza, los trazos curvos y muy fluidos solamente pudieron hacerse con puntas de abrasivo de dureza muy alta en comparación con la materia prima a ser grabada. En las circunstancias en que se produjeron tales piezas sólo pudieron haberse utilizado cristales de diamante o, en su defecto, de corindón, firmemente engastados en manguillos y manipulados con mano muy firme. La dureza de la jadeíta podría haber permitido que se la desbastara con arena de topacio, pero no que se la esgrafiara con los fluidos trazos curvos que muestran muchas piezas. Tales trazos curvos y fluidos, repito, sólo pudieron haberse logrado con puntas de diamante (grado 10 de Mohs) o de corindón (9 de Mohs). Dado el contexto mineralógico del territorio mesoamericano, considero que las arenas de co-

rindón o de esmeril son los materiales que más debieron utilizarse para ciertos desbastes, como apuntaron John B. Carlson (1981: 123) y Hernando Gómez Rueda y Valèrie Courtes (1987: 77). Pero reitero que los diseños esgrafiados más fluidos solamente pudieron haberse logrado con punta de diamante. Mientras más atrás en el tiempo se haya aplicado el diamante en la lapidaria, más factible es que se hayan aprovechado los cristales grandes a mano libre. Es un hecho que los minerales y metales que se encontraban a flor de tierra o en lechos de arroyos y ríos fueron colectados por el hombre en orden de mayor a menor en cuanto a tamaño y abundancia. Aun cuando no se tienen pruebas de esto, evidentemente llama mucho más la atención una pepita de oro grande que una pequeña, así como un cristal grande llama más la atención del ojo humano. Ello resulta en una colecta selectiva y ordenada de los cristales de diamante y otros materiales a partir de lo más atractivo y grande, dejando en segundo término lo menos atractivo y pequeño. Así se puede afirmar que mientras más tardía haya sido la aplicación de los cristales de diamante, más factible es que éstos hayan sido de tamaños menores y se hayan montado como puntas de buril, quizá en mangos de bambú (percederos y con pocas probabilidades de preservarse en el registro arqueológico) fuertemente atados con cordeles y cera, mientras los cristales más grandes pudieron ser manipulados a mano libre, sin necesidad de montarlos como buriles.

Fray Juan de Torquemada aludió concretamente a los “escultores de cantería” y mencionó que labraban cuanto querían con piedras “guijarreñas” y pedernales [dureza 6-7 de Mohs] (Torquemada, 1967, t. II: 486-487). Incluyó en este punto las esculturas de dos reyes hechas “a lo antiguo” que se hallaban en el Bosque de Chapultepec, lo cual permite suponer que se trataba de andesita (dureza práctica 6 de Mohs). Más adelante, y sin especificar, dice que los lapidarios labraban las piedras preciosas “con cierta arena que ellos sabían” (*ibidem*, t. III: 208-209) y bien podría tratarse de esmeril (dureza cercana a 9 de Mohs).



El investigador estadounidense Joseph D. McGuire, interesado sobre todo en las técnicas lapidarias de los indios norteamericanos, experimentó con diversos materiales de elementos activos y pasivos: catlinita (un tipo de lutita), caliza, jadeíta, nefrita, serpentina, basalto, gabro, obsidiana gneis, granito sano e intemperizado, jaspe, esmeril, diorita, cuarcita, pizarra, madera, hueso, concha, tubo de cobre nativo, arena cuarcífera, corindón y otros, todos en diversas combinaciones, con distintas puntas en taladro y diferentes dispositivos, como taladro manual, de arco y de bombeo (con movimiento rotatorio alternativo), ya fuera con agua o en seco, con abrasivo o sin él, lo cual le permitió llegar a conclusiones congruentes con la dureza de los materiales. Sus experimentos fueron sistemáticos en varios aspectos, de manera que tiene gran solidez en sus resultados aun cuando no utilizó diamante. Concluyó que los materiales trabajados por los indios eran relativamente suaves, como la catlinita.

### Aspectos mineralógicos y tecnológicos de la lapidaria mesoamericana

Sin rocas y minerales adecuados, la lapidaria como la conocemos ahora no podría haberse desarrollado; pero el territorio mesoamericano cuenta con una amplia gama de materiales adecuados para el caso, unos para ser tallados o forjados, otros para ser desbastados, pulidos y esgrafiados y aun otros para realizar estas operaciones. Para el pulimento, ya sea grueso o fino, es necesario usar materiales abrasivos. Definimos éstos como minerales tenaces y duros, capaces de remover fracciones superficiales de los minerales o materiales que el hombre trata de alterar —en su forma o aspecto externo— mediante la presión combinada con movimiento, es decir, rozando o restregando con fuerza y movimiento adecuados un material duro contra otro más suave.

Desbastar piedras para darles formas previamente ideadas es un trabajo que el lapidario indígena mesoamericano tuvo que hacer con gran esfuerzo físico, mucha destreza y sentido

artístico. Además, esta labor exigía intensa observación de lo que ocurría cuando “piedras” diferentes se ponían en contacto mediante golpe (directo o indirecto), presión o frotación con un asta de venado o hueso. Del contacto por golpe o presión surgieron la talla y la escultura mayor, y del contacto por frotación (fricciónamiento) surgieron la escultura en pequeño o miniatura, el pulimento de superficies y el esgrafiado de algunos minerales y rocas. Tanto en la escultura mayor como en la de pequeño formato se aplicó necesariamente la talla como primer paso para forjar el producto, luego seguía el fricciónamiento con desbaste, pulimento y en muchos casos con abrillantado y hasta esgrafiado.

El material más utilizado como abrasivo para desbastar y pulir (aunque de manera burda) ha sido la arena de los arroyos. Con dicho material se remueven los residuos de corteza de cualquier vara de árbol o arbusto, ya sea para mejorar el aspecto y otras características, o bien para hacer una lanza o una flecha. También con arena se remueve la pulpa y semillas de un calabazo y así tener un buen recipiente. Esta práctica es común y universal, se percibe más claramente mientras más tempranos sean los tiempos a que uno se refiera. Por tanto, la arena puede ser vista como el primer abrasivo de auténtico uso universal desde las más antiguas etapas culturales de todos los grupos humanos con tecnologías elementales, sin importar el tiempo ni la ubicación geográfica.

Desde el punto de vista granulométrico, se ha convenido que las partículas de cualquier arena han de medir entre 1/16 y dos milímetros. Por su tamaño y densidad específica, los granos de arena individuales son poco pesados, pero no son tan ligeros como las partículas de limos y arcillas con medidas aun menores. Las arenas silíceas (es decir cuarzosas) son producto del intemperismo que gradualmente ataca y disgrega rocas como las areniscas, cuarcitas, granitos, riolitas, etcétera (Ruiz Ortiz, 2001: 2), y de la clasificación hidráulica que ocurre cuando las partículas son arrastradas por el agua (de lluvia, arroyos o ríos) o el viento, en presencia de la gravedad. Los agentes del intemperismo

desintegran lentamente las formaciones rocosas localizadas en las partes altas del relieve natural, aguas arriba, en arroyos y ríos; es así como el agua transporta y clasifica los productos desintegrados. El proceso es semejante para las arenas silíceas de desiertos, pero los agentes que desintegran, transportan y clasifican son el choque térmico y el viento en combinación con la gravedad. El proceso de formación de las arenas comunes implica una selección natural de las partículas cuarzosas, más resistentes que otros materiales a los agentes del intemperismo. Las arenas silíceas constituyen así un abrasivo universal, pero un tanto limitado en cuanto a sus aplicaciones sobre minerales con alta dureza (7 a 10 de Mohs).

Cabe decir que ahora se tiene una idea de cómo aprovechar las características de las rocas y los minerales; mas alcanzar el conocimiento necesario para ello implicó recorrer un largo camino. Para satisfacción propia, los mexicanos podemos afirmar que los artesanos de las culturas indígenas recorrieron precozmente el camino aludido, y por ello sus productos lapidarios alcanzaron alturas que aún en la actualidad provocan la admiración de muchas personas.

Ahora bien, los abrasivos como tales nunca se consumieron en grandes volúmenes, ante todo por ser materiales reciclables, por lo que unos cuantos kilos de topacio, de esmeril o de granates podrían haber sido suficientes para el desbaste y pulimento de un gran número de instrumentos hechos en roca o minerales con alta dureza. Igualmente, un puñado de cristales de corindón o unos kilogramos de esmeril podrían representar el consumo de varios años en la producción de piezas pulidas y esgrafiadas (en chalchihuites duros como la jadeíta). El caso de los diamantes es el extremo, pues unos cuantos fragmentos pudieron ser suficientes para esgrafiar hachas y hachuelas votivas como las encontradas en La Venta. Entonces, desde el punto de vista minero sólo se podría pensar en caracterizar el yacimiento de algún abrasivo en el caso de los materiales menos duros y más abundantes. Quizá podrían reconocerse como minas prehispánicas algunas pequeñas excavaciones a cielo abierto sobre yacimientos de diatomita, hema-

tita, topacio y granates. También cabe recordar que muchos de los abrasivos más duros pueden haber sido recogidos a flor de tierra o en arroyos sin necesidad de hacer excavaciones profundas, como en el caso de topacio, corindón o diamante (durezas de 8, 9 y 10 de Mohs).

La tributación de cuentas de jade —como se indica en la Matrícula de Tributos a la que se sujetaban los pueblos dentro del territorio de la Triple Alianza, hacia finales del gobierno azteca podría orientar la investigación actual hacia localidades productoras de chalchihuites en que se localicen yacimientos de jadeíta, amazonita, nefrita, etcétera, y los talleres de lapidaria. Pero tal campo de investigación, para algunos abierto por la arqueóloga Zelia Nuttall (1901), no llegó a diseñarse y menos aún pudo llevarse a cabo. Si bien el tema de la lapidaria y los abrasivos necesarios no es mencionado por la investigadora en el reporte citado, su lista de localidades tributarias constituye un aporte de importancia para llevar a cabo la investigación correspondiente.

Para desarrollar la técnica de la abrasión, tanto el hombre mesoamericano como sus antepasados asiáticos ensayaron primeramente los materiales que tenían a la mano, hasta que de alguna manera utilizaron los materiales adecuados y obtuvieron los resultados deseados. Como los primeros habitantes del continente americano ya traían en su bagaje cultural conocimientos para desbaste una roca con otra más dura, la técnica lapidaria en la América media debió desarrollarse con cierta facilidad y rapidez, si se considera factible que reconocer rocas duras que desbaste a otras menos duras se dio sobre la base de conocimientos heredados, total o parcialmente, desde la migración que inició el poblamiento de América desde el noroeste asiático.

Desde tiempos muy remotos, el efecto de desbaste que una piedra dura tiene sobre otra menos dura debe haber sido bien conocido como una técnica para el alisamiento, semejante a la que hacía con ramas de árbol, huesos y cuernos de animales para proveerse de punzones al friccionarlos contra rocas. El desbaste también debe haberse conocido como consecuencia in-

directa de la adopción de la agricultura. Es decir, por la necesidad de moler el maíz, y algunos otros granos, para su mejor aprovechamiento como alimento. Desde que se introdujo el uso de morteros, ya sea de planta redonda u ovalada, los metates de planta más o menos rectangular, con o sin soportes, las mujeres estuvieron en muy estrecho contacto con el hecho de observar que las piedras tienen durezas diferentes, y que al friccionar unas contra otras las más duras desgastan las menos duras. Desde tiempos mucho más remotos, este mismo hecho pudo ser observado en la naturaleza, donde los cauces y laderas de arroyos y ríos son desbastados y alisados por las partículas pétreas que arrastra el agua y las somete a golpes y fricción.

Una condición indispensable para lograr la abrasión de un mineral sobre otro es que el primero tenga un grado de dureza igual o superior a la del segundo; además, mientras mayor sea la diferencia de las durezas entre dichos materiales, más fácil será lograr el desbaste, alisamiento, pulimento o esgrafiado que el artesano pudiera desear. Experimentalmente se ha comprobado que manualmente —es decir, sin mecanización, solamente a partir de una amplia diferencia de durezas— se logra que un material duro desbaste o esgrafe a otro menos duro, pues de lo contrario cualquier desbaste o esgrafiado puede tomar demasiado tiempo; en el caso de una herramienta de jadeíta contra jadeíta, el trabajo manual puede tomar varios años de trabajo. Es por ello que actualmente se parte del conocimiento de las características físicas de los minerales (de sus respectivas durezas y tenacidades) para saber cuáles pueden funcionar bien como abrasivos en un caso dado.

Si bien es cierto que en nuestros días la dureza de los minerales se mide fácilmente en laboratorios mediante instrumentos sobre la superficie de cristales o superficies pulidas, en términos artesanales esto no es lo usual. La dureza o *resistencia a la raspadura* está relacionada claramente, en la práctica artesanal y antigua, con el grado de cohesión entre los gránulos o cristales que forman el material. Por tanto, las rocas y minerales en que un artesano trata de

apreciar las durezas de manera empírica, pueden parecer menores que la real cuando la sustancia dura se desmorona por baja tenacidad. En la práctica esto ocurre con materiales constituidos por pequeños granos o cristales no bien consolidados (es decir con baja cohesión) y pueden disgregarse hasta quedar reducidos a tamaños pequeños, que en la práctica no permiten ser bien manipulados ni utilizarse para esgrafiar, aunque sí para desbastar, alisar o pulir. En estos casos el artesano rústico sólo puede apreciar las durezas empíricamente, en términos prácticos que corresponden a una mera aproximación a la dureza real, pero afectada negativamente por una baja tenacidad es decir, una débil cohesión entre las partículas y un pequeño tamaño de los gránulos del material abrasivo que se intente utilizar. En otras palabras, una baja tenacidad (entendida como la poca resistencia de un material a ser fracturado, doblado, estirado o comprimido) afecta negativamente la eficiencia de los abrasivos para desbastar e impide esgrafiar otros materiales, pues resulta en un mineral quebradizo. La manera más usual de reportar la dureza es en grados de la escala de Mohs, basada en una serie de minerales muy conocidos que pueden rayar a unos o ser rayados por otros. El científico austriaco Friedrich Mohs, quien ideó la escala en 1824, asignó números consecutivos del 1 al 10 partiendo del talco (el más suave) hasta llegar al diamante (el más duro). Aunque menos popular, también se usa la dureza Knoop, en la que el cuarzo alcanza el grado mil, el topacio dos mil, el corindón casi cuatro mil y el diamante se dispara hasta poco más de ocho mil (Coes, 1971: 55), lo cual significa que el diamante es ocho veces más duro que el cuarzo o cuatro veces más duro que el corindón. Existen muchas otras escalas de dureza, algunas específicas para los materiales ya mencionados, mas en este caso nos parece práctico el uso de las dos mencionadas.

El uso temprano de herramientas para lapidarios en el área mesoamericana viene de Tehuacán, lo cual fue documentado por el arqueólogo Richard MacNeish y su equipo, quienes excavaron y documentaron el uso de “seguetas” para desbaste. Determinaron que su utilización

se registra desde la fase Ajalpan de Tehuacán (1500 a.C.) hasta la conquista española (MacNeish, 1967: 125-126), aunque en Tehuacán su materia prima no era de dureza muy alta, pues los materiales más duros eran de arenisca (aproximadamente 7 de Mohs) y jadeíta (6.5 de Mohs).

Miguel Covarrubias publicó en 1961 sus investigaciones y estudios sobre la lapidaria en Mesoamérica. Particularmente, explicó que los olmecas tenían sensibilidad magistral al tallar (tallar, desbastar y pulir) el jade y dominaban el material hasta imponerle la forma deseada, con la misma soltura realista con que modelaban el barro. Comenta que “una técnica lapidaria tan avanzada utilizó todos los métodos imaginables: corte de la piedra, abrasión, desmenuzamiento por percusión y horadación con taladros sólidos y tubulares, así como un método desconocido para obtener el espléndido pulimento de las piezas”, y que acabaron los detalles y superficies con distintos abrasivos, pero sin mencionarlos (Covarrubias, 1961: 61). Otro aspecto interesante es que interpreta e ilustra las fases de la técnica (taladro, corte y abrasión) que probablemente usaron los olmecas para tallar un rostro al estilo de La Venta (*ibidem*: 62).

En estudios posteriores de la cultura olmeca quedó claro que además de los ubicuos metates y sus manos, hechos (por percusión y pulimento) generalmente en basalto, los artesanos de la piedra pulida produjeron también morteros, “tejolotes” (mano del mortero), hachas, cuñas, pulidores, desbastadores, seguetas de arenisca y “paletas” para pintor, mientras los talladores por lasqueo produjeron en obsidiana y pedernal: lascas cortadoras, puntas de proyectil, raspadores, perforadores, buriles para grabar y horadores (Diehl, 2004: 91), cuentas, espejos, y por lo menos una figurilla humana en magnetita, hematita e ilmenita, además de cuentecillas prismáticas en ilmenita, perforadas y para uso incierto (*ibidem*: 93-94).

Aun cuando entre sus resultados no incluye un reporte sobre la aplicación de materiales abrasivos a piedras y minerales duros, considero pertinente mencionar un artículo de la antropóloga estadounidense Elizabeth Brumfiel,

a propósito de las artesanías y productos utilitarios elaborados para las clases sociales privilegiadas del grupo cultural de los aztecas, ya que sus artistas lapidarios lograron admirables resultados al trabajar con pequeñas esculturas en cuarzo (Brumfiel, 1987). Otra investigación interesante se realizó en un taller de lapidaria en Otumba durante el Posclásico tardío (Charlton, 1993: 233, 243), pues en ella se puso de manifiesto el uso de perforadores de obsidiana, cuarzo y pedernal como los más comunes (*ibidem*: 233). También permitió establecer que un material duro como el cuarzo, con dureza 7 de Mohs, fue utilizado para trabajar materiales menos duros como la obsidiana, con dureza de 5 a 5.5 de Mohs. Asimismo, refiere la posible utilización de plantas que contienen sílice (*ibidem*: 237), dato primeramente mencionado por Sahagún (1963: IX, 81) y cuya referencia etnográfica parece confirmarse con la idea actual en cuanto al empleo de carrizo, otros pastos y el árbol de chechén para abrillantar piedra dura.

De las culturas misisipianas (800 a 1450 d.C.) han quedado gran número de microtaladros (aparentemente de pedernal) usados para perforar sin abrasivos cuentas redondas y planas hechas de concha. Los estudios del caso indican que estos microtaladros pueden haberse hecho montando las puntas (microbrocas) de pedernal en cañas que recibían movimiento giratorio alternado y en los dos sentidos, con lo cual los artesanos lograban su objetivo. Si bien se reconoce que las culturas misisipianas y de la Huasteca tuvieron algún tipo de relación, por ahora no se puede afirmar si hubo intercambio de conocimientos tecnológicos en lapidaria, aunque se propone que sí los hubo en cuanto a metalurgia (Dávila y Zaragoza, 1997: 11-12). En lapidaria considero factible que los conocimientos hayan surgido independientemente o se hayan difundido desde el área mesoamericana, dado que las culturas del Misisipi se muestran menos elaboradas tecnológicamente que las mesoamericanas.

El hallazgo de piezas en jade ha sido frecuente en el sur de la actual Costa Rica, zona que ha sido explorada arqueológicamente. Sin embargo, en los reportes se dice que únicamente

las piezas se esculpían por la técnica de picoteo, tras de lo cual (tratándose de jadeíta) se pulía con piedras suaves (*sic*), agua y arena (Ferrero, 1977: 270).

En referencia directa a la cultura maya, el investigador inglés Adrian Digby dice que la jadeíta se trabajaba aserrando con arena o un material similar, si bien deja la puerta abierta para mencionar abrasivos diferentes. También indica que la operación de aserrado se hacía mediante una cuerda impregnada del abrasivo, cuyo movimiento de vaivén presionaba sobre la pieza que se trabajaba. Otro método, usado especialmente para trazos curvos, consistía en hacer agujeros someros casi traslapados y luego desbastar los bordes. Para las usuales perforaciones Digby considera que en el periodo Clásico tardío se usaron cañas huecas o huesos de ave con abrasivo pulverizado (Digby, 1972: 15); éste se aplica con molinete semejante al huso de hilandera y al dispositivo para hacer fuego por fricción entre piezas de madera, pero en su versión el movimiento se imprime con una cuerda en su extremo superior accionada con un travesaño (*ibidem*: 16), muy semejante a la que aún hoy utilizan los artesanos joyeros con el nombre de “bailarina”.

### Los abrasivos disponibles para la lapidaria mesoamericana

En el territorio de la América media se ha identificado un amplio número de instrumentos líticos para usos utilitarios o suntuarios, cuya hechura, por cuanto a sus formas y acabados, solamente puede ser explicada por el empleo de materiales abrasivos. En general, las investigaciones realizadas en el área mesoamericana indican el uso implícito de material abrasivo, polvos abrasivos y agua como lubricante (Castillo Tejero, 1976: 17-18). Sin embargo, en pocas investigaciones arqueológicas se identifican polvos, arenillas u otros materiales abrasivos utilizados en tan notables trabajos.

Teniendo en cuenta lo anterior, traté de precisar, con criterios mineralógicos, cuáles abrasivos pudieron dar los resultados visibles en

instrumentos conocidos, cuáles pudieron ser obtenidos antiguamente en la América media, principalmente como minerales existentes en el contexto geológico de la misma zona cultural, y cuáles tuvieron posibilidad de obtenerse mediante intercambio con áreas culturales relativamente cercanas. Desde el punto de vista geológico los minerales abrasivos no solamente son propios del territorio mesoamericano, sino también de otras áreas culturales del continente americano. Varios de los más importantes abrasivos pudieron ser hallados a flor de tierra y en lechos de arroyos, en tamaños de gravas y arenas. Esto implica que para los artesanos lapidarios de la América media debió ser importante identificar los diferentes minerales abrasivos para recolectarlos, intercambiarlos y utilizarlos. Tales especies minerales se indican a continuación.

#### Diamante

En el contexto mineralógico mesoamericano se sabe de localidades diamantíferas, si bien no se trata de diamantes con calidad de gemas ni existen en abundancia en toda la región, como se verá más adelante. El diamante se ha localizado en la América media y reportado al norte de Sonora, cerca de la frontera con la ciudad de Douglas, Arizona (Webster, 1994: 24). Una localidad con roca kimberlita se localizó en los límites de Sinaloa con Sonora (Martín Sutti, comunicación personal, 13 mayo 2006), material en el que puede darse el diamante en forma masiva, así como en cristales de sistema isométrico, y en la variedad gris oscuro o negro opaco llamado carbonado, que suele ser masivo y a nadie parecen atractivos a la vista (Sinkankas, 1964: 287); solamente se ha utilizado como abrasivo disgregado o engastado (con tecnología moderna) en barrenas para minería o en buriles para grabadores. Los investigadores que reportaron los afloramientos de kimberlita concluyeron que hasta ahora la búsqueda de microdiamantes ha sido negativa, pero recomendaron seguir buscando (Servais *et al.*, 1985: 14). Esta recomendación implica que hay posibilidades; además

de que en arroyos cercanos puede haberse concentrado arenilla diamantífera por proceso gravimétrico natural. Quizá una reminiscencia del uso del diamante en tiempos prehispánicos queda en la lengua náhuatl, como se dijo en párrafos anteriores al citar a Clavijero.

Fuera de México, en Estados Unidos se han descubierto yacimientos de diamantes ampliamente distribuidos (Webster, 1994: 24) en las montañas Apalaches, especialmente en Carolina del Norte; las morrenas glaciales de los Grandes Lagos, en Arkansas y en California. En Canadá también existen yacimientos descubiertos recientemente y que ya se encuentran en producción. Los hay además en algunos puntos de Colombia, Guyana (*ibidem*: 44-45), Venezuela (*ibidem*: 10) y Brasil, en amplia distribución (*ibidem*: 22-23). Los yacimientos diamantíferos más importantes son los de Sudáfrica, con sus formaciones geológicas de kimberlita ya mencionada (un tipo de peridotita poco común en México).

En dicha roca los cristales octaédricos de carbono se pueden formar, a gran profundidad y tienen su origen en magmas en la corteza terrestre (Sinkankas, 1964: 287-288). Actualmente se han obtenido diamantes a flor de tierra, en aluviones, arenas de ríos y playas marinas, producto de erosión y acarreo, en costas de Sri Lanka, Myanmar y otros países del sudeste asiático. Al presente la producción de diamantes sintéticos ha reducido la demanda mundial de gemas naturales como abrasivo industrial y hasta para joyería. Este panorama desalienta la búsqueda de diamantes en territorio mexicano, pero no descarta la posibilidad de hallazgos arqueológicos. Cabe recordar que no todo diamante natural es necesariamente diáfano, transparente y atractivo a la vista como es el caso del carbonado, material que no tiene más valor que el asignado en su oportunidad por quien compra y quien vende.

### Corindón

Es un mineral muy importante como abrasivo por su dureza (grado 9 de Mohs). El corindón

es un óxido de aluminio cristalino (incolore en estado puro), con pequeñas cantidades de impurezas que en ocasiones le dan color atractivo. Puede tener calidad de gema, en cuyo caso el de color azul se llama zafiro y el rojo se denomina rubí. En México no se han encontrado tales gemas, aunque geológicamente podrían hallarse alguna vez, puesto que el corindón, corriente y poco atractivo a la vista, sí se ha reportado en un buen número de localidades que más abajo se mencionan. Por su gran dureza el corindón es el más apropiado para desbastar, alisar y pulir casi toda clase de chalchihuites (nombre genérico para los minerales y rocas con colores del verde al azul y que fueron muy apreciadas en las culturas mesoamericanas). Resulta casi imposible esgrafiar manualmente con buril de corindón los chalchihuites duros, y sostengo la hipótesis que así ocurrió desde el periodo Preclásico medio hasta el Posclásico tardío en el área mesoamericana, cuando se produjeron excelentes piezas esculpidas, pulidas y grabadas en diversos chalchihuites con dureza cercana a 7.0 de Mohs. El corindón es un mineral relativamente común (disperso y en pequeñas cantidades) en México (Johnson, 1965: 90), particularmente en los estados de Oaxaca, Guerrero y Puebla; en Guadalcázar, San Luis Potosí, con distribución limitada (Panczner, 1987: 170); Tamaulipas, Guanajuato, Estado de México, Placeres de Seam, en Baja California (IGM, 1923: 11), en una localidad no precisada de Durango (*ibidem*: 42), Hacienda Saravia, municipio de Guachicovi, Oaxaca (*ibidem*: 101; Kunz, 1971: 252), en el lecho del río Piaxtla y otros arroyos de Sinaloa (*ibidem*: 125), así como en otras localidades con probables pegmatitas ácidas. También se han hallado, en zona maya, cristales de corindón como zafiros y rubíes de baja calidad. Otros hallazgos corresponden a Guatemala, en el río Bobos, cercano a la población de Morales, y en el río San Diego (Garza-Valdés, 1993: 115), lo cual indica la disponibilidad del abrasivo desde la antigüedad.

Algunas localidades de pegmatitas con cierta posibilidad de contener cristales de corindón son Calmahi, municipio de Ensenada, BC;

Palo Verde, municipio de San Antonio, en Baja California Sur; Cerro de la Virgen, municipio de Acapulco, Guerrero, y una localidad no precisada en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca (IGM, 1923: 101). Las pocas veces que en el pasado reciente se ha producido corindón se ha hecho mediante el minado directo y cuidadoso, hasta manual, de pegmatitas que pueden contener los cristales. Aún falta localizar prolongaciones en México de yacimientos de Estados Unidos (Meeves, *et al.*, 1966). Mas raramente se ha reportado en ese país corindón con calidad de gema (para joyería), por lo que actualmente la producción oficial es nula. Aunque no abundan las vetas pegmatíticas, tampoco son raras en el territorio mexicano, y durante el periodo Formativo debió ser relativamente fácil recoger cristales de corindón a flor de tierra o en arroyos, de haber existido, y usarlos como puntas para grabar o como arena para desbastar chalchihuites y otras piedras y minerales duros. Desde luego, para ello fue de importancia el conocimiento mineralógico empírico de quien prospectaba por corindón, pues quien recogía o minaba dicho mineral debía poder reconocerlo.

Cabe decir que en los periodos Formativos temprano y medio el trabajo minero aún era “a cielo abierto” en excavaciones someras (Langenscheidt, 1985: 41-48). Fue durante el Formativo medio cuando se iniciaron las operaciones mineras incipientes, abriendo galerías y pozos mediante percutores líticos, palancas y cuñas de madera (*ibidem*: 41-45). En esos remotos tiempos los cristales de corindón también pudieron haberse recogido a flor de tierra, seleccionados manualmente de otros materiales o mediante un simple lavado de gravillas y arenas de arroyo, aguas abajo de las formaciones pegmatíticas. También se podría haber separado del mineral de mina mediante una trituración previa a la concentración o al lavado. Dicha operación se podría haber realizado como en el caso del cinabrio en la Sierra Gorda, mediante una concentración gravimétrica en “bateas de minero” (*ibidem*: 90; Velasco Mireles, 1997: 558). Actualmente el corindón natural no tiene demanda como abrasivo, ya que los pro-

ductos sintéticos, importados a México desde hace 40 o 50 años, resultan más baratos.

#### Crisoberilo

Es una mezcla de óxido de berilio y óxido de aluminio que resulta interesante por su dureza (de grado 8.5 de Mohs) y color verde, lo que le da categoría de chalchihuite en las culturas mesoamericanas. Aunque puede alcanzar calidad de gema, en territorio mesoamericano es una rareza, como abrasivo tanto como gema. Con todo, es interesante saber que se ha reportado su presencia en algunas vetas pegmatíticas, micaesquistos y aluviones en Chilpancingo, Guerrero, y Tulancingo, Hidalgo, pero en ambas localidades con distribución limitada (Panczner, 1987: 159). No ha existido operación minera alguna, formal, que lo produzca en México.

#### Topacio

Es un material importante por su dureza, de grado 8 en la escala de Mohs; se trata de un silicato de flúor y aluminio. El topacio es común, dado que se encuentra en lavas ácidas y pegmatitas; se ha reportado su existencia en Ensenada, Baja California; en Mulegé y San Antonio, Baja California Sur; en Aquiles Serdán, Chihuahua; Comonfort y Durango en el estado del mismo nombre; en Guanajuato y León, Guanajuato; en Coyuca de Benítez, Guerrero; en Metepec, Hidalgo; en Cerritos, Charcas, Villa de Arriaga y Villa de Reyes, San Luis Potosí; en Pinos y Sombrerete, Zacatecas (Panczner, 1987: 378-380), otras localizaciones pequeñas las indica Johnson (1965: 74). Como está ampliamente distribuido en el territorio mesoamericano, también debió usarse como abrasivo, en forma de arenas y como cristales montados en mango para desbastar y grabar los chalchihuites menos duros. Actualmente se produce en unas cuantas operaciones mineras manuales, de gambusinos, a cielo abierto. Son muy pocas operaciones, eventuales y muy rústicas, no mecanizadas, ya que no existe demanda por tratarse de topacio de baja calidad, poco atractivo y no utilizable en joyería.

## Granates

En realidad se trata de un grupo que incluye seis minerales diferentes, con durezas que van de 6.5 a 7.5 en la escala de Mohs. Son silicatos con calcio, magnesio, hierro y aluminio combinados. En México se hallan por muy diversos rumbos, ya que los granates son comunes donde haya rocas metamórficas. En Mazapil, Zatecas, existe un yacimiento que parece haber sido aprovechado desde el periodo Clásico mesoamericano. Considero muy probable que estos minerales se hayan utilizado durante todos los periodos culturales prehispánicos, tanto por las atractivas formas de sus cristales isométricos (normalmente pequeños) como por servir de abrasivo eficaz, debido a su dureza relativamente alta, para desbastar materiales suaves como serpentinas y travertinos. Otros yacimientos grandes fueron localizados en Xalostoc, Morelos; uno de la especie grosularita fue ubicado en Sáliz, Sonora (Félix U. Alarcón, 1999, comunicación personal). Es interesante apuntar que en lengua náhuatl existe la palabra “tlapateoxihuitl”, que Sahagún (Códice Florentino Lib. 11, ilustración 769) usa para referirse al rubí pero solamente puede aludir al granate rojo o piropo, componente del grupo de las seis especies de silicatos isométricos aludidos: almandita (7.5 en escala de Mohs), piropo (7.25), espartita (7.25), grosularita (7.0), andradita (6.5) y uvarovita (6.5-7.5) (Sinkankas, 1964: 534-5.40). Actualmente los yacimientos señalados no se hayan en explotación.

## Esmeril

Otro material importante disperso en el área de la América media; está constituido por una mezcla íntima de gránulos de corindón, magnetita, hematita y espinela, estas últimas como “impurezas” (Sinkankas, 1964: 323). Según la proporción de corindón a impurezas que contenga será su dureza, la cual es de 7 a 9 grados de Mohs. En la naturaleza se encuentra consolidado como arenisca o disgregado como arena. Actualmente se conoce un gran número de lo-

calidades pequeñas en Tamaulipas, Guerrero, Oaxaca y otros estados, con mineral de diversos grados de dureza y consolidación. La amplia presencia de esmeril en Mesoamérica seguramente propició su aprovechamiento en tiempos prehispánicos, aunque no se ha publicado investigación alguna al respecto. Por su alta dureza desbasta casi cualquier especie de chalchihuite. Sahagún lo menciona como “teoxalli” (Sahagún, 1963: 237), destaca su alta dureza y distingue la arena de pedernal, a la que llama “tecpaxalli” (*ibidem*: 238); dice que el teoxalli es material triturado y molido. Actualmente no existe producción.

## Cuarzo cristalino

Es un material llamado también cristal de roca y presenta una dureza grado 7 de Mohs; las cuarcitas, arenas cuarzosas y areniscas (con dureza diversa) constituyen abrasivos comunes y muy dispersos en el territorio mesoamericano. Es un material que existe en incontables localidades como grava o arena en arroyos, y en muchos casos como material de veta. Sahagún lo menciona como “tehuilotl” (*ibidem*: 225), afirma que proviene de mina y cuando presenta color se denomina “tlapalteuilotl” (*idem*). El cristal de roca se encuentra comúnmente en vetas, donde se originó. En tiempos prehispánicos la obtención de cuarzo de vetas debió ser mínima, por las dificultades técnicas inherentes a su alta dureza (7 en escala de Mohs). Ello permite considerar que los mineros prehispánicos al desconocer los explosivos, obtuvieron el cristal de roca recolectándolo al pie de vetas, como producto de la descomposición de formaciones rocosas donde aquéllas se alojaban. Actualmente se produce en muy pequeña escala en pocas minas, para uso industrial. También se produce ocasionalmente para colecciones mineralógicas, cuando los cristales son atractivos por su tamaño, forma, color e inclusiones. En el estado de Guerrero se produce en pequeña cantidad en minas (de origen prehispánico) para joyería, y eso cuando se encuentra como amatista.



## Pedernales

Los pedernales también son cuarzo, pero en cristales tan pequeños que solamente son visibles con microscopio y por ello se les llama criptocristales o microcristales. Esta roca puede usarse como abrasivo una vez reducida a tamaño de arena, pues tiene una dureza de 6.5 a 7 de Mohs para fines prácticos. Al igual que al esmeril, Sahagún lo llama “técpatl” y al molido (a mano) “tecpaxalli”, del que dice es un medio para limpiar, pulir, alisar o estregar (superficies de) cosas (*ibidem*: 238). Son también incontables las localidades donde se le encuentra en la América media, en potentes (gruesas) formaciones. En los estados de Querétaro y Morelos se llevó a cabo un excelente estudio petrográfico de cuatro muestras arqueológicas de pedernal por parte de Jaime Torres Trejo, quien aclara que para clasificar una muestra como pedernal la roca no debe ser clástica y debe tener más de 50 por ciento de ópalo, calcedonia o cuarzo cripto o microcristalino, y que en términos mineralógicos no hay diferencia entre *pedernal* en español y *silex*, *chert* o *flint* en inglés (Torres Trejo, 1996: 73).

## Calcedonia

Como todo cuarzo criptocristalino, la calcedonia presenta dureza entre 5.5 y 6.5 grados de Mohs (Sinkankas, 1964: 532-534). Triturados a tamaño de arena o como arena natural, tales materiales pudieron utilizarse como abrasivo en tiempos prehispánicos. De hecho, existen algunas piezas de ese periodo para uso ornamental, suntuario o utilitario hechas en calcedonia y otras variedades de cuarzo criptocristalino, entre ellos algunos instrumentos pulidos como pendientes “olmecas” y de los llamados “bruñidores”. No se tienen noticias de que la calcedonia como tal haya sido explotada en tiempos prehispánicos, aunque sí fue aprovechada en pequeñas piezas, seguramente recogidas como fragmentos de roca desprendidos de su lugar de origen o acarreados como gravas en arroyos. De tales gravas pudieron ser seleccionados guijarros que se usaron en las pocas aplicaciones (no

específicas) conocidas de tiempos prehispánicos. Por no existir demanda de calcedonia en tiempos modernos, no existen vestigios de explotación minera alguna como tal en México.

## Arenas negras

Estos materiales son muy frecuentes en playas de mar, lagos o ríos y suelen incluir diversos minerales. Estas arenas tienen minerales muy variables, tanto en calidad como en proporción, pero con algún valor como abrasivo. Normalmente incluyen rutilo (grado 6-6.5 de Mohs), ilmenita (grados 5-6 de Mohs), magnetita (5.5-6.5), hematita (5.5-6.5 de Mohs), granates (6.5-7.5), etcétera, y materiales calcáreos (pedacería de conchas de moluscos con dureza inferior a 3). Por la dureza de los minerales que incluyen, las propiedades abrasivas de las arenas negras son muy diversas, y por lo mismo son abrasivos heterogéneos y poco efectivos. Existen grandes yacimientos a orillas del mar en las playas de Puerto Angel, Oaxaca, que pudieron haber sido aprovechados desde tiempos prehispánicos como abrasivo corriente, mismo que pudo haberse recogido directamente, sin trabajo propiamente minero. En tiempos modernos se han llevado a cabo explotaciones mineras para evaluar su potencial económico como material titanífero y no como abrasivo.

## Tierra diatomácea

Está constituida por microscópicos esqueletos de sílice no cristalina (ópalo) de organismos unicelulares (diatomeas) desarrollados en aguas ricas en sílice. En territorio mesoamericano existen muchos yacimientos pequeños, además de algunos depósitos grandes localizados en Zacoalco, Jalisco; en Panotla y Tlaxcala, en el estado de este nombre, así como en Tlahuapan, Puebla. Se cuenta con varios yacimientos pequeños en los estados de México, Baja California y otros lugares donde hubo lagos con un contenido relativamente alto de sílice. Para fines prácticos se considera que tiene una dureza de 5.5 a 6.5 de Mohs. Por su fina granulometría es muy útil como abrasivo para pulir chalchihuites di-

versos y darles una superficie lustrosa o hasta brillante; también se pudo usar como pigmento blanco en algunos murales prehispánicos. Actualmente se explota con métodos mineros modernos en Zacoalco, Jalisco, como ayuda en la industria.

### Hematita

La hematita es un óxido férrico, frecuentemente con aspecto terroso a la vista, pero se encuentra cristalizada en sistema hexagonal con dureza 6.5 de Mohs (Sinkankas, 1964: 326). Cuando se le encuentra en cristales grandes (especularita) presenta color gris metálico en superficies hasta de varios centímetros cuadrados y con propiedades de espejo. Es un mineral muy común en el área mesoamericana y muy utilizado en todo el mundo desde las más remota antigüedad, sobre todo como pigmento (ocre rojo). Su uso como abrasivo muy fino ha sido también muy extendido por su diminuta granulometría y gran dureza cuando se presenta como hematita terrosa. Se encuentra en yacimientos grandes y pequeños por muchos lugares en México. En su forma terrosa la dureza parece ser baja, pues se desmorona fácilmente y por ello no sirve para esgrafiar, pero bien aplicada pudo haber dado excelente brillo a las piedras duras en tiempos prehispánicos. Por ser un material muy abundante siempre ha existido la posibilidad de recogerlo de oquedades donde se acumula, sin necesidad de minería formal. En tiempos prehispánicos y coloniales fue un pigmento común con múltiples aplicaciones; hasta principios del siglo XX se explotaba mediante trabajos mineros informales a cielo abierto, con el nombre de ocre rojo.

La lista de materiales abrasivos con dureza inferior a 6 de Mohs es muy grande, por ello resulta muy probable que los artesanos y lapidarios prehispánicos hayan utilizado como abrasivos muchos materiales mixtos. Algunos de estos materiales podrían haber sido aplicados ventajosamente sobre materiales de dureza relativamente baja, como travertinos, calizas y determinados chalchihuites no muy duros como la malaquita (grados 3.5 a 4 de Mohs), fluorita verde (grado 4 de Mohs), calcita verde (grado 3 de Mohs), serpentinas y serpentinitas (que como conjunto mineralógico su dureza, para fines prácticos se halla entre 2.5 y 5). Así, muchos materiales pudieron servir como abrasivos improvisados, entre ellos la abundante piedra pómez, aun cuando presenta dureza no unifor-



- Fig. 1 Muestra geológica de jadeíta frente a tres cristales grandes de minerales abrasivos, posiblemente los preferidos para desbastar minerales de menor dureza que la jadeíta. Arriba a la derecha un cristal de cuarzo, en medio un cristal de topacio y abajo uno de corindón, en tamaños que pueden ser manipulados a mano libre. A la izquierda, cuatro cristales de menor tamaño enmangados en cañas a manera de buriles (con mangos perecederos y pocas probabilidades de preservarse en el registro arqueológico): abajo, un buril de corindón engastado en bambú, a continuación uno de topacio engastado en bambú, y un cristal pequeño de cuarzo engastado en caña. Los tres cristales engastados en caña constituyen buriles rústicos. Al centro, una muestra geológica de jadeíta cuya mayor dimensión mide 92 mm, fue obtenida en Silacayoapan, Oaxaca, recogida por un campesino en el lecho de un arroyo en la década de 1970. Ya antes el autor había tenido noticias de jadeíta en cantos rodados en el lecho del río Atoyac (Lange, 1993: 205, citando a Muriel Porter Weaver).

me y relativamente baja. Lo mismo se afirma de las escorias volcánicas, tanto negra como rojiza, llamadas en español con el nahuatlismo “tezontle”, y aprovechadas desde tiempos prehispánicos muy tempranos. Aunque no se trata propiamente de un mineral sino de vegetal, existe en México otro material interesante que es la planta de carrizo, y que por su alto contenido de sílice (como otros pastos) pudo ser aprovechada en el pulimento de algunos chalchihuites.

Al hablar de los espejos hechos en piedra apropiada, Sahagún menciona que se pulen con arena fina y se abrillantan aplicando una goma formada con el excremento de murciélago mezclado con caña fina (Sahagún, 1963: XI, 229; agradezco a Javier Balbás la referencia). Considero que en este caso tal mezcla también puede ser explicada de manera parecida a la pulpa del chechén; es decir, los ácidos que se formen con el excremento de murciélago desintegran las sustancias orgánicas de las cañas y liberan ya sea sílice microcristalina o ya sea ópalo (microesferoides de sílice hidratada), las sustancias que pueden abrillantar la superficie del espejo debido a su dureza, de 7 y de 5.5 a 6.5 de Mohs, respectivamente. Me parece interesante lo que se llegó a hacer con plantas en lapidaria, pues en el área maya era sabido que la pulpa del árbol chechén permitía pulir la superficie de algunas estelas y dinteles en roca caliza, lo cual viene a ser como la técnica de grabado al ácido (Javier Balbás, comunicación personal, abril 2006). Quizá este carácter abrasivo de la pulpa del chechén se deba a la precipitación o a la liberación química de sílice microcristalina (dureza 7 de Mohs) u ópalo (dureza 5.5 a 6.5 de Mohs), precipitación química que podría explicarse al ocurrir la concentración de la savia por evaporación de agua de la misma. En su caso, la liberación de sílice microcristalina o de ópalo podría ocurrir por la descomposición bac-

teriana del material orgánico que libera los microcristales de sílice o los microesferoides de sílice hidratada que constituyen el ópalo. En cuanto al árbol del chechén, es posible que se trate de alguna de las dos especies que llevan el mismo nombre vulgar, pero podrían corresponder a la *Comocladia sp.* o a la *Metopium brownei Jacq* (Martínez, 1987: 145). En Yucatán crece el árbol del chechén negro cuya savia es extremadamente corrosiva, al punto de ser una creencia popular que ataca químicamente a los minerales. Y si bien no soporta un análisis científico, parece tener fundamento en el hecho que en Yucatán abundan las formaciones de rocas calizas susceptibles de ser atacadas con ácidos como los que parece contener la savia del chechén negro (*ibidem*: 277), considerado un árbol venenoso.

Muchas de las pequeñas piezas escultóricas olmecas realizadas en piedras duras presentan superficies curvas, cóncavas y convexas semejantes a las piezas mayores en basalto, como las colosales cabezas de gobernantes de La Venta y San Lorenzo Tenochtitlan. Las formas curvas, en dos planos a escuadra, son superficies continuas y sin escalonamientos, como puede verse en la llamada hacha Kunz (véase el labio infe-



● Fig. 2 Trazos esgrafiados modernos hechos con buril con punta de diamante sobre la muestra geológica de jadeíta. La marca ovalada mide 13 mm en su dimensión máxima, y resulta igual a las marcas en instrumentos olmecas en jadeítas

rior del rostro) y muchas orejeras, máscaras, etcétera. Tales piezas muestran una admirable maestría en sus diseños y técnicas lapidarias. Otro tanto se puede decir de abundantes piezas mayas, mixtecas, de Veracruz (periodo Clásico), toltecas, (periodo Epiclásico), purépechas y aztecas (periodo Posclásico). También causan asombro otros aspectos de piezas con superficies alabeadas, trazos realzados en medio bocel, en media caña y esgrafiados. Para apreciar las superficies continuas con doble curvatura refiero al lector a las figurillas olmecas en serpiente de hombres-jaguar en transformación (cat. núms. 10 y 11 de la colección Robert Woods Bliss en Washington), en cuyas extremidades y rabo presentan superficies curvas continuas en dos planos perpendiculares (Lothrop, 1957: láminas IV, V y XII). Estas superficies toroides también se ven en el “yugo” totonaco marcado con número 21 del catálogo citado, y sobre todo en la parte del receptáculo de la copa en cristal de roca (dureza grado 7 de Mohs) de la tumba 7 de Monte Albán, considerado el ejemplo técnicamente más notable de la lapidaria mesoamericana.

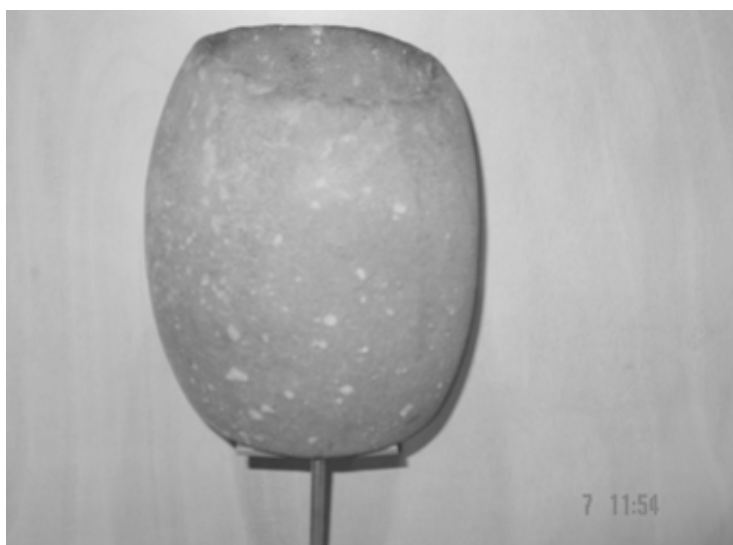
Es importante considerar que para realizar trabajos lapidarios no era necesario que los artesanos trabajaran al lado de las fuentes naturales de abrasivos, ya que el consumo no era de gran volumen. Un buen cristal de diamante o corindón podía ser usado en múltiples ocasiones y ser transportado a grandes distancias sin más problema que cuidarlo, como cuida todo artesano una buena herramienta. Otro tanto se puede decir de la arena de corindón, el esmeril, los cristales de topacio y otros abrasivos de alta dureza en la escala Mohs. Después del perio-

do Formativo medio, es decir desde el Formativo tardío en adelante, esculpir por desbaste con abrasivos gruesos y pulir con abrasivos finos fueron las técnicas comunes, como indican los incontables instrumentos y esculturas que legaron a la posteridad los artesanos y maestros mesoamericanos.

El procedimiento aplicado en la manufactura de instrumentos líticos pulidos se explica a



● Fig. 3 Cristal de corindón, variedad rubí. Procedente de Sri Lanka, 15 mm de longitud.



● Fig. 4 Vasija de procedencia desconocida, quizá de la época agrícola incipiente (7000-2300 a.C.); realizada en piedra y con 22 cm de altura. Técnica probable: desbaste y pulimento con arena cuarzosa gruesa y fina. Museo Nacional de Antropología. (Foto: Gerardo Montiel Klint/ *Arqueología Mexicana/Raíces/INAH*).

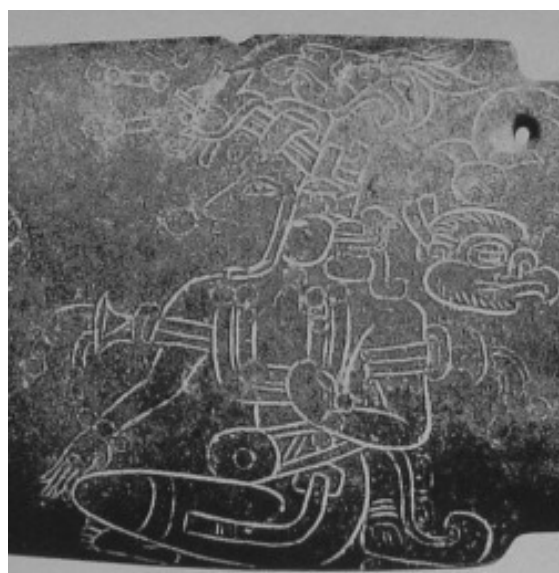
detalle en la obra de la doctora Mirambell (1968: 31-89), que incluye cuentas, penates mixtecas, bezotes, orejeras, figurillas, placas y espejos. Los resultados del dominio que los lapidarios indígenas alcanzaron en diversas culturas se ejemplifica con las fotografías que acompañan a este ensayo.

## Epílogo

En materia de abrasivos falta mucho por investigar arqueológicamente en la América media. La mayoría de estos minerales, posiblemente usados en el área mesoamericana, actualmente no son atractivos ni fácilmente reconocibles por ojos no familiarizados con ellos. Aun para los antiguos lapidarios conocedores de materiales abrasivos pudieron resultar poco atractivos a la



- Fig. 5 Vista parcial de la escultura en jadeíta *El Señor de Las Limas* o *Monumento 1*. Procedente de Las Limas, Jesús Carranza, Veracruz, y atribuida al periodo Preclásico medio de la cultura olmeca. Altura: 55 cm, ancho máximo: 42 cm, peso: 60 kg. Museo de Antropología de Jalapa, Veracruz. Foto: Marco Antonio Pacheco/*Arqueología Mexicana/Raíces/INAH*, 2005. Técnica probable: desbaste con arena de corindón, pulimento con diatomita o hematita. En este ejemplo se puede observar falta de fluidez plena en algunos de los trazos esgrafiados, lo que podría implicar que el lapidario no disponía de una punta de diamante fina para hacerlos. Los trazos circulares incompletos quizá fueron hechos con taladro tubular y arenilla de diamante. La fluidez de la forma de los labios y otros rasgos que no muestra esta ilustración permiten suponer el uso de arena de corindón o arena diamantífera para el desbaste grueso y fino. El pulimento permite suponer el uso arena fina de corindón y hematita terrosa (E. P. Benson, 1996: 50).



- Fig. 6 Vista parcial del reverso de un pectoral en jadeíta que mide 8.5 x 13.6 cm, procedente de La Encrucijada, Tabasco, y atribuida al periodo Preclásico medio de la cultura olmeca. Museo Carlos Pellicer Cámara, Villahermosa, Tabasco. Foto: Marco Antonio Pacheco/*Arqueología Mexicana/Raíces/INAH*, 2005. El reverso se encuentra esgrafiado con trazos fluidos y finos que representan una figura humana sedente en estilo maya temprano. Técnica probable: desbaste con arena de diamante, pulimento con diatomita o hematita; la gran fluidez de los trazos permite creer que fueron hechos con punta de diamante.

vista, con excepción de aquellos que por su forma, color y tamaño sobresalían del sustrato en que se encontrarán: minas, terreros, arroyos o terrenos aluviales. Sin embargo, el rico legado de instrumentos suntuarios o utilitarios expuestos en museos son clara muestra del temprano dominio que tuvieron los pobladores de la América media. Los lapidarios dejaron obras excelentes en piedras duras, en las que para forjar una pieza utilizaron la percusión; los abrasivos duros y gruesos para pulimento; para taladrar utilizaron abrasivos duros de granulometría intermedia, y para pulir emplearon abrasivos de granulometría fina y durezas de altas a medias; para abrillantar contaban con abrasivos finos como diatomita, hematita, sílice microcristalina o el ópalo de pastos; mientras para esgrafiar usaban el diamante.

Los vestigios prehispánicos indican implícitamente un conocimiento amplio, por parte de



- Fig. 7 Vista parcial de un hacha en jadeíta procedente del estado de Guerrero; atribuida al periodo Preclásico medio de la cultura olmeca. Altura: 28.00 cm, ancho: 7.8 cm. Museo de Arte de Dallas, Texas (Michael Coe, *et al.*, 1996: 302). El ojo mide casi 17 mm de largo en el hacha original. Los trazos, fluidos y muy finos, presentan muy pocas rectificaciones, lo cual indica que fueron hechos con punta muy fina de diamante.

especialistas de casi todas las culturas mesoamericanas, de abrasivos como el diamante, corindón, esmeril, topacio y cuarzo. En trabajos arqueológicos casi no se han reportado abrasivos, aparentemente por falta de análisis mineralógico. Sin embargo, considero que el diamante, seguido del corindón, son los minerales abrasivos que permitieron esculpir por desbaste los minerales y rocas más duras, para luego pulirlas y esgrafiarlas. Estos dos abrasivos permitieron (tras la forja por percusión) esculpir por desbaste sustancias tan duras como el cuarzo (en sus múltiples variedades, tanto cristalinas como criptocristalinas), jadeíta, serpentinita, magnetita, hematita y otros minerales y rocas, para luego darles acabado superficial fino. Pero el diamante, ya sea masivo, en cristales o en arena, es el único abrasivo con el que pudieron hacerse desbastes efectivos sobre cuarzo y jadeíta (o chalchihuites duros), y el único material con el que se pudo esgrafiar la jadeíta con los trazos fluidos que muestran algunas de las imágenes anexas.

Provisionalmente, considero que la diferencia fundamental entre el desarrollo de la lapidaria en el Viejo Mundo y en Mesoamérica no está en los materiales abrasivos ni en la materia prima de los productos lapidarios, sino en la utilización de la rueda giratoria de esmeril para cortar y grabar las piedras duras. Sin una rueda de abrasivo eficaz y buena velocidad de giro, no es posible desbaste en un tiempo razonablemente corto un bloque de jadeíta (o material similar con dureza 6 a 7 de Mohs), o esculpir una figura *en intaglio* como las que muestran Rosenfeld, Dvorachek y Amorai-Stark (2003: 235) acerca de Roma. Parece que en el campo de la lapidaria se repitió en Mesoamérica el caso de



- Fig. 8 Vista parcial de una escultura en serpentinita que representa la transformación de un ser humano en jaguar, procedente de Tabasco y atribuida a la cultura olmeca, altura aproximada: 7.65 cm (W. F. Foshag y Joy Mahler, 1957: cat. núm. 11). La dureza relativamente baja de la serpentinita permite considerar que el desbaste pudo haberse llevado al cabo con arena de cuarzo o de topacio, y el pulimento con diatomita y hematita.



● Fig. 9 Vista parcial de una cucharilla ritual en jadeíta proveniente del estado de Veracruz y atribuida a la cultura olmeca; altura: 3 cm, ancho: 12.1 cm. Museo de Brooklyn (Michael Coe, *et al.*, 1996). Los trazos del rostro humano de perfil representado son muy firmes, sin remarcar, lo cual permite ver que fueron hechos con punta de diamante.

la carretilla; es decir, se conoció la rueda, pero sus aplicaciones no incluyeron la carretilla misma ni la rueda para corte de piedras. Por las huellas de utilización del molinete accionado directamente con las manos, o con cuerdas, se puede considerar que este dispositivo mecánico se aplicó en el taladro para hacer horadaciones en cuentas, orejeras y bezotes, para el pulimento de espejos y, desafortunadamente, en la mutilación de varias de las cabezas colosales de San Lorenzo Tenochtitlan. La rueda se aplicó además en juguetes en culturas de Veracruz central y quizá en otros casos aún no conocidos, pero tecnológicamente no trascendentes.

En investigaciones arqueológicas es importante analizar muestras de arenas y tierras obtenidas de pisos y suelos en sitios con vestigios prehispánicos e indicios de trabajo lapidario, y así reconocer mineralógicamente los materiales abrasivos y enriquecer nuestro conocimiento de la tecnología lapidaria mesoamericana. También es recomendable investigar sobre el probable abastecimiento mesoamericano de arenas diamantíferas y diamantes procedentes de América del Sur, pues tanto las ideas como los bienes salvaron distancias considerables ambas regiones. Se tienen pruebas (aunque no de-

talladas) de que existieron contactos con Ecuador, Perú y Colombia al menos por lo que toca a la adopción de la metalurgia en el Occidente mesoamericano (Hosler, 1994: 99-105, 171-184). Existen además algunos rasgos culturales que atestiguan tales intercambios entre Mesoamérica y la costa atlántica de Colombia en su fase Momil, a finales del primer milenio a.C. (Reichel-Dolmatoff, 1965: 45, 73) y otras influencias en sentido contrario. El diamante es el único mineral abrasivo que pudo permitir a los antiguos lapidarios esgrafiar magistralmen-



● Fig. 10 Copa en cuarzo hialino procedente de la Tumba 7 de Monte Albán, atribuida al periodo Posclásico de la cultura mixteca; altura: 94 mm, diámetro exterior: 80 mm, 5 mm de espesor en el borde y peso de 192 g (informe técnico de Alfonso Caso, núm. 19-38, Archivo Técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología del INAH). Considero que el desbaste interior y exterior fue hecho con arena diamantífera, mientras el pulimento interno y externo se realizó con arena fina diamantífera o arena fina de corindón; el pulimento final mediante tierra diatomácea o hematita terrosa. Por las dimensiones, dureza de la materia prima (7 de Mohs) y calidad, tanto de la forja como del acabado, se puede decir que es la obra conocida más admirable de la técnica lapidaria mesoamericana (foto: Editorial Raíces).

te, con líneas suaves y muy fluidas, los diseños olmecas y mayas sobre piezas hechas en jadeíta. Asimismo, sólo el diamante pudo permitir el desbaste, en términos prácticos, de piezas hechas en cristal de roca (cuarzo) con una geometría perfecta.

La posesión de las herramientas, conocimientos y habilidad para esculpir, desbastar, pulir, abrillantar y esgrafiar piedras duras como la jadeíta tuvo que otorgar a quien los poseían y aplicaban un amplio reconocimiento en la sociedad, y quizá también una alta posición social. Podrían haber sido artesanos o gremios de artesanos privilegiados por sus habilidades que fueron puestos al servicio de los hombres más poderosos de la sociedad, o bien ser éstos mismos quienes tenían las más altas posiciones sociales. Alterar la forma de un trozo de duro cuarzo o chalchihuite fino, una sustancia sagrada, y convertirlo a voluntad en representación de un poderoso ser espiritual y esgrafiar la superficie con finos trazos de diseños simbólicos y mágicos, solamente deben haber podido hacerlo quienes, a la vista de sus coetáneos, tenían poderes muy especiales (mágicos, religiosos o civiles), quizá los poderes más altos en la sociedad. Las técnicas lapidarias en cuarzo y jadeíta son una proeza de la tecnología prehispánica y necesariamente debió otorgar prestigio especial a los individuos involucrados en el trabajo lapidario.

En una última reflexión sobre el diamante, me permito decir que —a pesar de referencias como su existencia en el norte de Sonora y, quizá Sinaloa— no se tiene noticia de explotación propiamente minera de yacimiento alguno de diamantes, por carecer de la calidad de gemas. Pero algunos cristales, o sus fragmentos con aristas, pudieron haberse obtenido del criadero mineral o de material intemperizado, ya que dicho material pudo haber parecido más conspicuo a los ojos de los indios prehispánicos que a la mirada de prospectadores de los siglos XVI al XX. Por otra parte, arqueológicamente se sabe del intercambio de bienes (o contactos de algún tipo) a grandes distancias desde tempranos tiempos en el área mesoamericana. Por ello no se puede descartar la posible presencia en

Mesoamérica de diamantes procedentes de Colombia, Venezuela o Brasil y su empleo para grabar la jadeíta (y otros materiales duros), o bien para desbastar y pulir el cuarzo. Estas operaciones lapidarias no pueden ser explicadas solamente con el corindón, el esmeril y el topacio: la jadeíta no pudo ser grabada artesanalmente con corindón y lograr los finos y fluidos trazos que vemos en muchos objetos mesoamericanos (particularmente olmecas); el cuarzo tampoco pudo ser desbastado para formar una copa o una fina orejera sin un material con dureza muy superior al grado 6 de Mohs.

En resumen, la lapidaria prehispánica en cuarzo o chalchihuite fino se iniciaba con la forja por percusión burda seguida de percusión fina; luego venía el desbaste por horadaciones contiguas y/o cortes rectos con arena diamantífera, para llegar al pulimento con arena diamantífera fina y/o arena fina de corindón; por último, y de ser necesario, se abrillantaba la superficie aplicando pulpa del chechén o goma con excremento de murciélago. Cuado así se deseaba podían esgrafiarse las piezas en chalchihuites finos con punta de diamante. Por último, para futuras investigaciones considero muy importante el uso de réplicas de alta calidad logradas a partir de impresiones muy fieles en elastómeros que sirven de moldes. Las réplicas permitieron a Bellina (2003: 289) examinar al microscopio marcas de producción en pequeñas áreas de superficies de cuentas antiguas procedentes de India y el sureste asiático datadas hacia 1000 a.C.

## Bibliografía

- Bellina, Berenice  
2003. "Beads, Social Change and Interaction between India and Southeast", *Antiquity*, 77 (296), June, pp. 285-297.
- Benson, Elizabeth P. y Beatriz de la Fuente (eds.)  
1996. *Olmec Art of Ancient Mexico*, Washington, The Board of Trustees, National Gallery of Art.
- Bernal, Ignacio  
1969. *The Olmec World*, trad. de Doris Heyden y Fernando Horcasitas, Berkeley, University of California Press.



- Brumfiel, Elizabeth M.  
1987. "Elite and Utilitarian Crafts in the Aztec State", en Elizabeth M. Brumfiel y Timothy K. Earle (eds.), *Specialization, Exchange, and Complex Societies*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Burenhult, Göran (ed.)  
1993. *The First Humans. Human Origins an History to 10 000 BC*, Nueva York, Harper.
- Carlson, John B.  
1981. "Olmec Concave Iron-Ore Mirrors: The Aesthetics of a Lithic Technology and the Lord of the Mirror", en Elizabeth P. Benson (ed.), *The Olmec & their Neighbors. Essays in Memory of Matthew W. Stirling*, Washington, Dunbarton Oaks Research Library and Collections.
- Caso, Alfonso  
1965. "Lapidary Work, Goldwork and Copperwork from Oaxaca", en R. Wauchope y G.R. Willey (eds.), *Handbook of Middle American Indians. Archaeology of Southern Mesoamerica*, vol. 3, part 2, Austin, University of Texas Press, pp. 896-930.
- Castillo Tejero, Noemí  
1976. *Consideraciones generales sobre algunos conocimientos tecnológicos entre los mayas prehispánicos*, México, INAH (Cuaderno de Arqueología, 1).
- Charlton, Cynthia  
1993. "Obsidian as Jewelry: Lapidary Production in Aztec Otumba, Mexico", en *Ancient Mesoamerica*, núm. 4, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 231-243.
- Clavijero, Francisco Javier  
1964. *Historia antigua de México*, ed. y pról. del R P Mariano Cuevas, México, Porrúa.
- Coe, Michal D. (comp.)  
1996. *The Olmec World: Ritual and Rulership*, Princeton, The Art Museum/Princeton University.
- Coe, William R.  
1965. "Artifacts of the Lowlands Maya", en R. Wauchope y G. R. Willey (eds.), *Handbook of Middle American Indians. Archaeology of Southern Mesoamerica*, vol. 3, part 2, Austin, University of Texas Press, pp. 594-602.
- Coes, Jr., Loring  
1971. *Abrasives*, Nueva York/Viena, Springer/Verlag.
- Covarrubias, Miguel  
1961. *Arte indígena de México y Centroamérica*, México, UNAM.
- Dávila C., Patricio y O. Diana Zaragoza  
1997. "Nuevos datos sobre metalurgia en la región huasteca", en V Reunión de Historiadores de la Minería Latinoamericana, San Luis Potosí.
- Davis, Mary L. y Greta Pack  
1982. *Mexican Jewlery*, Austin, University of Texas Press.
- De Wolf, Paul P.  
2003. *Diccionario Español-Náhuatl*, pról. de Miguel León-Portilla, México, Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM/Universidad Autónoma de Baja California Sur/Fideicomiso Teixidor.
- Diehl, Richard A.  
2004. *The Olmecs, America's First Civilization*, Londres, Thames and Hudson.
- Digby, Adrian  
1972. *Maya Jades*, Londres, British Museum Publications.
- Durán, fray Diego  
1984. *Historia de las Indias de Nueva España e islas de Tierra Firme*, ed. de Ángel Ma. Garibay K., México, Porrúa.
- Easby, Elizabeth K. y Dudley T. Easby  
1953. "Apuntes sobre la técnica de tallar jade en Mesoamérica", en *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*, núm. 6, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires.
- Evans, Susan Toby  
2004. *Ancient Mexico an Central America: Archaeology and Culture History*, Londres, Thames and Hudson.
- Ferrero, Luis  
1977. *Costa Rica precolombina: arqueología, etnología, tecnología, arte*, San José, Editorial Costa Rica.
- Flannery, Kent V. y Ronald Spores  
1983. "Excavated Sites of the Oaxaca Preceramic",

en Kent V. Flannery y Joyce Marcus (eds.), *The Cloud People: Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilization*, Nueva York, Academic Press.

• Foshag, William F.

1957. "Mineralogical Attributions", en S. K. Lothrop, W. F. Foshag y Joy Mahler (eds.), *Robert Woods Bliss Collection. Pre-Columbian Art*, Londres, The Phaidon Press.

1954. "Estudios mineralógicos sobre el jade en Guatemala", en *Antropología e Historia de Guatemala*, núm. 6, vol. 1, Guatemala, pp. 3-47.

• Garza-Valdés, Leoncio A.

1993. "Mesoamerican Jade, Surface Changes Caused by Natural Weathering", en Frederick W. Lange (ed.), *Pre-Columbian Jade, New Geological and Cultural Interpretations*, Salt Lake City, University of Utah Press, pp. 104-124.

• Gómez Rueda, Hernando y Valérie Courtes

1987. "Un pectoral olmeca de La Encrucijada, Tabasco: Observaciones sobre piezas menores olmecas", en *Arqueología*, núm. 1, INAH, México, pp. 73-88.

• Hansford, S. Howard

1950. *Chinese Jade Carving*, Londres, Lund Humphries & Company.

• Hosler, Dorothy

1994. *The Sounds and Colors of Power. The Sacred Metallurgical Technology of Ancient West Mexico*, Cambridge, The MIT Press.

• Hughes, Richard W.

1990. *Corundum*, Nueva York, Butterworth Gem Books.

• Instituto Geológico de México

1923. *Catálogo geográfico de las especies minerales de México*, México, Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo/Talleres Gráficos de la Nación (Boletín 41).

1922 (?). *Catálogo sistemático de las especies minerales de México y sus aplicaciones industriales*, México, Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo/Talleres Gráficos de la Nación (Boletín 40).

• Johnson, Paul Willard

1965. *Field Guide to the Gems and Minerals of Mexico*, Mentone, CA., Gembooks.

• Kidder, Alfred *et al.*

1946. *Excavations at Kaminaljuyu, Guatemala*, Washington, Carnegie Institute of Washington.

• Koeningswald, G. H. R. von

1956. *Meeting Prehistoric Man*, Londres, Thames and Hudson.

• Kunz, George Frederick

1971 (1913). *The Curious Lore of Precious Stones*, Nueva York, Dover Publications.

• Landa, fray Diego de

1943. *Relación de las cosas de Yucatán*, ed. y n. de A. Tozzer, Cambridge, Papers of the Peabody Museum of American Ethnology.

• Lange, Frederick W.

1993. *Pre-Columbian Jade. New Geological and Cultural Interpretations*, Salt Lake City, University of Utah Press.

• Langenscheidt, Adolphus

1997. "La minería en el área mesoamericana", en *Arqueología Mexicana*, vol. V, núm. 27, México, Raíces, pp. 4-15.

1988. "Historia mínima de la minería en la Sierra Gorda", en Margarita Velasco Mireles (coord.), *La Sierra Gorda: documentos para su historia*, vol. II, México, INAH (Científica), pp. 503-593.

1985. "Bosquejo de la minería prehispánica de México", en *Quipu*, vol. 2, núm. 1, México, Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencia y la Tecnología, pp. 37-58.

• Leroi-Gourhan, André

1945. *Evolution et Techniques*, t. II, *Milieu et Technique*, París, Albin Michel.

• López Austin, Alfredo y Leonardo López Luján

1996. *El pasado indígena*, México, FCE/Fideicomiso Historia de las Américas/El Colegio de México.

• Lorenzo, José Luis

1967. *La etapa lítica en México*, México, INAH.

1965. *Los artefactos de Tlatilco*, México, INAH.
- Lothrop, S. K.; W. F. Foshag & Joy Mahler (eds.)  
1957. *Robert Woods Bliss Collection. Pre-Columbian Art*, Londres, The Phaidon Press.
  - Lucas, A.  
1948. *Ancient Egyptian Materials and Industries*, Londres, Edward Arnold and Company.
  - MacNeish, Richard; Antoinette Nelken-Terner e Irmgard W. Johnson  
1967. *Non Ceramic Artifacts. The Prehistory of the Tehuacán Valley*, vol. II, Austin, University of Texas Press.
  - Martínez, Maximino  
1937. *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*, México, Botas.
  - McGuire, J. D.  
1892. "Material Apparatus and Possesses of the Aboriginal Lapidary", en *American Anthropologist*, núm. 5, Washington, Smithsonian Institution, pp. 165-176.
  - 1893. "On the Evolution of Art and Working in Stone", en *American Anthropologist*, núm. 6, Washington, Smithsonian Institution, pp. 307-319.
  - 1896. "A Study of the Primitive Methods of Drilling", en *Annual Report*, Washington, Smithsonian Institution, pp. 623-756.
  - Meeves, Henry C., et al.  
1966. *Reconnaissance of Berillium-Bearing Pegmatite Deposits in Six Western States: Arizona, New Mexico, South Dakota, Utah, and Wyoming*, Denver, Bureau of Mines/U. S. Department of the Interior.
  - Mirambell, Lorena E.  
1968. *Técnicas lapidarias prehispánicas*, México, INAH.
  - Molina, fray Alonso de  
1992. *Vocabulario en lengua castellana y mexicana y mexicana y castellana*, est. prel. de Miguel León-Portilla, 3a. ed., México, Porrúa.
  - Mottana, Annibale, Rodolfo Crespi y Giuseppe Liborio  
1978. *Simon and Schuster's Guide to Rocks and Minerals*, ed. de Martin Prinz, George Harlow y Joseph Peters, Nueva York, Simon and Schuster.
  - Nuttall, Zelia  
1901. "Chalchihuitl in Ancient Mexico", en *American Anthropologist*, vol. 3, núm. 2, Nueva York, G. P. Putnam's Sons, pp. 227-238.
  - Panczner, William D.  
1987. *Minerals of Mexico*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold Company.
  - Piña Chan, Román  
1990. *Los olmecas, la cultura madre*, ed. de Laura Laurencich Minelli, Barcelona, Lundberg.
  - Rands, Robert L.  
1965. "Jades of the Maya Lowlands", en R. Wauchope y G. R. Willey, (eds.), *Handbook of Middle American Indians, Archaeology of Southern Mesoamerica*, vol. 3, part 2, Austin, University of Texas Press, pp. 561-580.
  - Rau, Charles  
1868. "Drilling in Stone without Metal", en *Smithsonian Report for 1868*, Washington, Smithsonian Institution, pp. 392-400.
  - Reichel-Dolmatoff, Gerardo  
1965. *Colombia*, Londres, Thames and Hudson.
  - Rosenfeld, Amnon; M. Dvorachek y S. Amorai-Stark  
2003. "Roman Wheel-Cut Engraving, Dyeing and Painting Microquartz Gemstones", en *Journal of Archaeological Science*, núm. 30, pp. 227-238.
  - Ruiz Ortiz, Arturo J.  
2001. "Yacimientos minerales no metálicos. Arena sílica", en *Boletín Técnico Coremi*, núm. 41, Pachuca, Consejo de Recursos Minerales, pp. 2-10.
  - Rubín de la Borbolla, Daniel F.  
1993. "El arte popular precolombino de México", en *Artesanías de América*, núm. 42, Quito, CIDAP, pp. 13-33.
  - 1948. "Arqueología tarasca", en *IV Reunión de Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología*, México, pp. 29-33.
  - Sahagún, fray Bernardino de  
1963. *Florentine Codex. General History of the Things of New Spain. Book 11 - Earthly Things*, Charles E. Dibble y Arthur J. O. Anderson (eds.), Santa Fe,

The University of Utah, The School of American Research.

• Sax, M., *et al.*

2004. "The Identification of Carving Techniques on Chinese Jade", en *Journal of Archaeological Science*, vol. 31, núm. 10, pp 1413-1428.

• Semenov, Sergei A.

1964. *Prehistoric Technology: An Experimental Study of the Oldest Tools and Artifacts from Traces of Manufacture and Wear*, Londres, Cory, Adams y Mackay.

• Servais, Marc, *et al.*

1985. "Descubrimiento de kimberlitas en México. Área de San Javier, municipio de Badiraguato, Estado de Sinaloa", ponencia para la XVI Convención de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México.

• Stirling, Matthew W.

1961. "The Olmecs Artists in the Jade", en *Essays in Pre-Columbian Art and Archaeology*, núm. 4, Cambridge, pp. 43-59.

• Sinkankas, John

1964. *Mineralogy for Amateurs*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold and Company.

• Torquemada, fray Juan de

1969 (1915). *Monarquía Indiana*, ed. facs., intr. de Miguel León Portilla, México, Porrúa.

• Torres Trejo, Jaime

1996. *Introducción al estudio del pedernal*, México, INAH (Científica 330).

• Velasco Mireles, Margarita (coord.)

1997. *La Sierra Gorda: documentos para su historia*, vol. II, México, INAH (Científica).

• Victoria Morales, Alfredo, *et al.*

2002. "Corundo de la mina El Milagro, Piedra Imán, Guerrero", en *Geos*, vol. 22, Núm. 2, México, Unión Geofísica Mexicana, pp. 286.

• Vaillant, George

1930. *Excavations in Zacatenco*, Nueva York, Anthropological Papers of the American Museum of Natural History, vol. 32, pte. 1.

• Webster, Donovan

1998. "The Orinoco", en *National Geographic*, April, Washington, National Geographic Society, pp. 5-11.

• Webster, Robert

1994. *Gems: Their Sources, Descriptions, and Identification*, Oxford, Butterworth-Heinemann.

• Wright, Katherine y Andrew Garrard

2003. "Social Identities and the Expansion of Stone Beadmaking in Neolithic Western Asia: New Evidence from Jordan", en *Antiquity*, vol. 77, núm. 206, pp. 267-284.

