

EL ESTUDIO DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS EN LA ARQUEOLOGÍA MESOAMERICANA

Isabel Villaseñor Alonso

Luis Alberto Barba Pingarrón

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas

Resumen: El estudio de materiales constructivos ha sido un área infravalorada en la investigación arqueológica mesoamericana. Ha sido práctica sistemática la de romper y desechar pisos y aplanados durante las excavaciones arqueológicas, ya que rara vez existe algún interés por estudiar y caracterizar estos materiales. Sin embargo, creemos que los materiales constructivos guardan un potencial especial para la investigación arqueológica y por lo tanto deben ser incorporados como parte integral de los proyectos.

En este trabajo esbozamos de manera general las razones que generan el desinterés por los materiales constructivos, así como las metodologías y los aspectos teóricos que pueden ser empleados para su estudio. Se analizan también algunos aspectos de la producción de materiales constructivos que tienen implicaciones sociales y ambientales importantes para el estudio de las sociedades del pasado, los cuales pueden ser inferidos por medio de la combinación de análisis de materiales, etnoarqueología y trabajo experimental. Por último, se hace una breve reflexión acerca de los aspectos poco abordados y de las posibles líneas de investigación a futuro.

Palabras clave: estucos; argamasas; morteros; materiales constructivos; caracterización de materiales.

The study of building materials in Mesoamerican archaeology

Abstract: The study of building materials has been an undervalued field of research in Mesoamerican archaeology. It has been a common practice to discard floors and plasters during archaeological excavations due to the lack of interest in the study and characterization of these materials. Nonetheless, we propose that building materials hold a special potential for archaeological research and need to be incorporated as part of archaeological projects.

This paper describes the theoretical and methodological aspects that may be used for the study of building materials, as well as the trends that are shown by the few studies that have been carried out recently. The paper also examines some aspects of the production of building materials that have social and environmental implications for the study of past societies. Finally, we make a brief discussion about the aspects that have been rarely dealt with, and provide future lines of research.

Keywords: plasters; mortars; renders; building materials; material analysis.

El estudio de materiales constructivos en la investigación arqueológica

El desinterés generalizado que existe por el estudio de los materiales constructivos se deriva quizá del hecho de que estos materiales aportan poca información diagnóstica a simple vista, por lo menos al investigador no especializado. En comparación con los materiales cerámicos, en donde existen diseños, formas, policromías y acabados de superficie, los materiales constructivos rara vez presentan atributos fácilmente identificables para ser usados en sistemas de clasificación tales como el tipo-variedad.

A pesar del poco interés que la arqueología ha mostrado por los materiales constructivos en sí, desde principios de la investigación arqueológica mesoamericana el estudio de la arquitectura y los sistemas constructivos ha revestido un interés particular. Un caso relevante son las publicaciones del Instituto Carnegie de Washington, las cuales se destacan por incorporar de manera exitosa los estudios etnográficos y arqueológicos, entre los que sobresalen las excavaciones y detallados reportes de las tipologías y sistemas constructivos en sitios mayas. La obra de Manuel Gamio, *La población del valle de Teotihuacan*, también destaca por la detallada descripción de los materiales y sistemas constructivos teotihuacanos (Gamio 1979).

A mediados del siglo pasado, la publicación de *Arquitectura prehispánica* de Ignacio Marquina (1951) constituyó un aporte indiscutible para el estudio de tipologías y técnicas constructivas prehispánicas que en muchos sentidos sigue aún vigente. El principal interés de la obra, enmarcada en la corriente del historicismo cultural, fue determinar las cronologías y rasgos característicos de la arquitectura de las culturas mesoamericanas y sus influencias. Si bien carece de herramientas que permitan el estudio detallado de técnicas y materiales, el trabajo de Marquina destaca por su visión amplia y compiladora del vasto patrimonio arquitectónico prehispánico.

Muchos han sido también los reportes y descripciones de sistemas constructivos prehispánicos que se han llevado a cabo de manera reciente como parte de excavaciones arqueológicas. Estos estudios son informativos e ilustrativos sobre los sistemas constructivos, pero rara vez se analizan en ellos los materiales constructivos empleados o se discute la procedencia de los mismos, por lo que no los abordaremos en la presente discusión.

El estudio del trabajo y el impacto ambiental de la construcción

Un enfoque interesante relacionado con el estudio de los materiales constructivos ha sido la aportación de los estudios etnográficos y experimentales de Abrams (1984, 1994), Abrams y Bollard (1999) y Schreiner (2002), en donde se cuantifica el trabajo constructivo en términos de hora-hombre. Estos estudios constituyen una aportación significativa para la comprensión del trabajo involucrado en la extracción y procesamiento de las materias primas empleadas en las actividades constructivas, información que muchas veces puede ser extrapolada para entender las tecnologías constructivas de la época prehispánica. Sin embargo, un problema frecuente de estos estudios es que en ocasiones no se cuenta con la información tecnológica de las sociedades del pasado para poder recrear con detalle todas las actividades productivas. De igual forma, en algunas ocasiones los estudios experimentales se realizan con instrumentos o tecnologías que no corresponden a las que se desea reproducir, siendo ejemplos frecuentes el uso de sistemas modernos de transportación y el uso de herramientas metálicas, lo cual genera información errónea en cuanto a las horas-hombre que se desea calcular.

La falta de precisión en los cálculos de los tiempos en las actividades constructivas ha generado un debate acerca de la demanda de fuerza laboral, así como de los cálculos de población, ya que en ocasiones estos últimos se derivan de los datos obtenidos de las actividades constructivas. De esta forma, por ejemplo, Webster y Kirker (1995), siguiendo la misma línea de Abrams (1994), consideran que la arquitectura maya monumental no requería de grandes demandas laborales, en contraste con la idea generalizada de que había un estrés laboral importante sobre la población para las actividades constructivas. Sin embargo, cabe mencionar que los cálculos laborales y de explotación de recursos de Abrams (1994), mismos que utilizan Webster y Kirker (1995), son poco precisos, como se describe más adelante, por lo que es muy probable que la demanda laboral haya sido mayor a la que los autores consideran. La dificultad para realizar cálculos precisos también la experimentan Barba y Córdova (2010) al calcular la energía requerida para transformar la cal en Teotihuacan, ya que intervienen una gran cantidad de variables que son difíciles de controlar y es necesario acudir a varias simplificaciones y estimaciones.

Contrario a la opinión de Abrams (1994) y Webster y Kirker (1995), creemos que las actividades constructivas a menudo ejercían una presión considerable sobre la población y que en ocasiones constituían incluso un motivo de conflicto político. Se sabe, por ejemplo, que en el caso de los mexicas, Moctezuma Ilhuicamina

mandó mensajeros a las distintas provincias del imperio para poder recolectar fuerza laboral y materiales para la construcción del Templo de Huitzilopochtli. Los chalcas, al negar cualquier forma de cooperación, fueron atacados y vencidos por Tenochtitlan, después de lo cual muchos de ellos fueron sacrificados en honor a Hutzilopochtli (Durán 1994).

La tecnología de la cal

La cal es sin lugar a dudas el material que más interés ha despertado en la arqueología, lo que probablemente se deba a que este material es completamente producido por el hombre, en contraste con el resto de los materiales constructivos que únicamente son tallados o modelados para obtener la forma deseada. En la transformación de la cal se involucra una gran cantidad de energía y avanzados conocimientos tecnológicos, lo que hace de la cal un material complejo para etapas preindustriales.

Un acercamiento importante a las técnicas de producción de cal tradicionales han sido los trabajos etnográficos. En el caso de los trabajos de restauración del Templo de los Guerreros de Chichén Itzá (Morris *et al.* 1931), el proyecto llevó a cabo la producción de cal con la técnica maya, que consiste en la construcción de piras de madera húmeda arriba de las cuales se colocan los fragmentos de roca caliza para ser quemadas a cielo abierto. Esta técnica fue documentada a detalle por los autores y sirvió como una analogía etnográfica para mejorar el entendimiento de las técnicas prehispánicas de producción de cal en la zona maya, además de producir los materiales constructivos necesarios para la restauración del Templo de los Guerreros.

Asimismo, Schreiner (2002) ha documentado variantes regionales de la técnica de pira húmeda por medio de quemas experimentales llevadas a cabo con maestros en la zona del Petén, lo que sugiere que estas técnicas tuvieron un origen prehispánico y fueron empleadas de manera frecuente en el área maya, lo que explica la ausencia de hornos en las excavaciones arqueológicas.

De igual forma, las descripciones de los estudios etnográficos de Morris *et al.* (1931) sobre tradiciones constructivas mayas mencionan rasgos tecnológicos descritos en fuentes etnohistóricas, mismos que han sido confirmados mediante estudios arqueológicos. Un ejemplo es la incorporación de aditivos orgánicos a la cal, lo cual se encuentra en los documentos de Diego de Landa (Tozzer 1966) y que han sido identificados por Magaloni *et al.* (1995b) y Magaloni (1998) mediante el análisis de muestras arqueológicas provenientes de Bonampak, Chiapas.

Otro aspecto fundamental en el estudio de la producción de cal ha sido la inversión energética necesaria para su producción, pues se requiere de una gran fuerza laboral y de cantidades considerables de combustibles (Abrams 1994: 74; Barba y Córdova Frunz 1999; Schreiner 2002), ya que la quema de la roca caliza se lleva a cabo a temperaturas alrededor de 900 °C, lo cual es mayor que las temperaturas promedio de cocción de la cerámica prehispánica. En este sentido, cabe mencionar que pocas veces se reflexiona acerca del trabajo involucrado en la fabricación de un piso o un aplanado de estuco,¹ los cuales forzosamente requirieron de la quema de materiales calcáreos a temperaturas considerables, empleando como combustible madera de árboles talados con herramientas líticas, y transportados sin el uso de la rueda (Barba y Córdova 2010).

Esta falta de reflexión acerca del trabajo y los recursos necesarios en la producción de cal se debe probablemente a que rara vez se encuentra evidencia de este proceso en el registro arqueológico, ya sea en forma de hornos o zonas de producción. Uno de estos casos es la ausencia de evidencias de producción de cal en Teotihuacan a pesar de la conspicua presencia de revestimientos y acabados con cal, lo que ha obligado a plantearse la posibilidad de que este proceso de transformación se diera fuera del valle de Teotihuacan en las zonas cercanas a los afloramientos geológicos (Barba y Córdova 2010: 117). Los pocos reportes de producción de cal detectados en el registro arqueológico incluyen caleras en Chalcatzingo (Grove 1987; Grove y Cyphers Guillén 1987), en la región de Tepeaca (Castanzo 2004; Castanzo y Anderson 2004), así como posiblemente un horno cerrado en Copán (Abrams y Freter 1996), aunque la identificación de este último ha sido cuestionada por Schreiner (2002: 96). Vale la pena mencionar que a pesar de esta escasa evidencia arqueológica acerca de las zonas de producción de cal, creemos que la arqueología debe ser capaz de recrear los procesos y dinámicas sociales del pasado, o por lo menos reflexionar acerca de ellos, aun cuando sólo se cuente con un registro arqueológico fragmentario.

En relación con el cálculo de volúmenes del combustible utilizado para la fabricación de cal, han existido diferencias importantes según las metodologías empleadas y la exactitud de los datos en los distintos estudios, lo cual ha generado que existan posturas muy diferentes en cuanto al papel que desempeñó la producción de cal en la deforestación durante la época prehispánica. Morris *et al.* (1931) fueron los primeros en estimar las cantidades de madera requeridas para esta actividad, quienes documentaron que una calera estándar de dos metros de altura

¹ El término “estuco” ha sido empleado en la arqueología mexicana para designar de manera genérica los materiales a base de cal, ya sea para la construcción de pisos, aplanados, morteros de rejunteo o para otros fines constructivos o decorativos. Sin embargo, en otros países se utilizan los términos “argamasa” o “mortero” para designar los mismos materiales.

generaba 200 cargas de cal (8 000-8 400 kg), empleando alrededor de 12 cordas de madera (43 m³). Sin embargo Schreiner (2002: 66) analiza que Morris y sus colegas subestimaron la cantidad de combustible necesario para producir esa cantidad de cal. Con base en los cálculos de Morris *et al.* (1931), Abrams y Rue (1988) considera que se requerirían aproximadamente 11 m³ de madera para producir 10 m³ de cal, con lo cual estima que se habrían talado aproximadamente 0.13 hectáreas anuales de bosque durante el periodo Clásico en Copán, lo que contrasta drásticamente con el cálculo reportado por Russell y Dahlin (2007), quienes afirman que se habrían talado 400 hectáreas de bosque anualmente durante la ocupación de Mayapán, es decir, ¡una demanda mayor a la reportada por Abrams por un factor mayor a 3 000! Asimismo, se encuentra la opinión de Wernecke (2008), quien considera que la tala de árboles para la producción de cal en la zona maya no tuvo un impacto considerable en la deforestación. En el caso de Teotihuacan, Barba y Córdova (1999) hacen cálculos a partir de parámetros termodinámicos y estiman la gran cantidad de energía necesaria para la transformación de roca caliza en cal, pero no encuentran evidencia de deforestación en el valle de Teotihuacan por lo que proponen que hay que buscar fuera del valle y probablemente hacia la zona de Tula.

Como parte de esta discusión, creemos que para un mejor entendimiento del impacto ambiental hacen falta estudios más detallados en cuanto a la demanda específica de combustible, pero también es necesario estimar la cantidad de cal necesaria según las características específicas de la arquitectura mesoamericana, la cual varía enormemente en función de los distintos estilos arquitectónicos.

Los estudios de caracterización de los materiales constructivos

El empleo de técnicas de análisis específicos, complementadas con la observación *in situ* de características acerca del uso de los materiales en la arquitectura, constituye una fuente importante de información arqueológica que nos habla de la selección de materias primas específicas por parte de las sociedades del pasado, así como de su origen geológico, transportación, y de la inversión de trabajo involucrado en las actividades constructivas.

Dentro de las técnicas de análisis más empleadas para la caracterización de materiales constructivos prehispánicos se encuentran la petrografía, la microscopía electrónica de barrido y la difracción de rayos X, ya que son técnicas que permiten la caracterización elemental y mineralógica de los materiales constructivos.

Una de las principales interrogantes de la investigación arqueológica acerca de los materiales constructivos ha sido la procedencia de las materias primas. El

caso del Templo Mayor es ejemplar ya que los trabajos de investigación abordaron la problemática de la procedencia de cada uno de los materiales constructivos mediante la utilización de cartas geológicas, estudios petrográficos y recorridos por yacimientos. De esta forma, se vio que los materiales ígneos, tales como el basalto, el tezontle y la andesita, provenían de la cuenca de México y que las piedras calizas y la cal utilizadas en la construcción de la plataforma de la etapa IVa fueron importadas, probablemente de yacimientos de los estados de México, Hidalgo, Morelos y Puebla (López Luján *et al.* 2003). De igual forma, Miriello *et al.* (en prensa) muestran cómo la cal utilizada en el acabado de las etapas constructivas del Templo Mayor fue traída de los afloramientos de roca caliza en las cercanías de la actual ciudad de Tula, Hidalgo, de la misma forma que poco antes se determinó que la cal usada en el patio central de Teopancazco, Teotihuacan, provenía de las mismas fuentes geológicas (Barba *et al.* 2009).

Se encuentra también el estudio de Hernández Morales (1995) quien, con base en recorridos e identificación de yacimientos, logró identificar los distintos materiales constructivos empleados en el sitio de Cuthá, Puebla, como materiales de explotación local, dentro de los que se encuentran la caliza, el basalto columnar, la brecha volcánica, el alabastro y la cal, aunque no se llevaron a cabo análisis de caracterización de materiales.

Cabe mencionar también el estudio de caracterización de materiales llevado a cabo por Torres Montes y Reyes García (2009) en los materiales constitutivos del Convento de Santa Rosa de Viterbo en Querétaro. Los autores emplean con éxito la difracción de rayos X para la caracterización de los minerales constitutivos y de alteración de estos materiales coloniales.

Destacan asimismo los trabajos liderados por Diana Magaloni en la zona maya (Magaloni 1995, 1998; Magaloni *et al.* 1992, 1995a, 1995b). En el caso del estudio de los materiales constructivos y pictóricos, Magaloni (1998) emplea la cromatografía de gases-espectrometría de masas (gc-ms) y la cromatografía de líquidos de alta resolución (phlc) para la identificación de los posibles aditivos empleados en la manufactura de la cal y de los aglutinantes presentes en las capas pictóricas. De igual forma destaca en este estudio el trabajo de recopilación de la información contenida en las fuentes etnohistóricas, así como la discusión del sentido literal y figurado de los términos de los distintos materiales en maya yucateco moderno. Vale la pena señalar que en estos trabajos los aplanados estudiados tienen como fin último servir como soportes para pinturas murales y por lo tanto puede sospecharse de una preparación especial, distinta de los pisos comunes.

La caracterización de estucos ha servido en algunos casos para establecer fases técnicas y fechar de esta manera los materiales constructivos de una manera

relativa, como en el caso de los materiales constructivos de Palenque (Villegas *et al.* 1995). De manera similar, se han llevado a cabo análisis diacrónicos de estucos que, basados en la idea de la alta inversión energética que estos materiales demandan, han servido para estimar la fuerza laboral y los recursos forestales disponibles con base en los grosores de capa y la calidad de los materiales constructivos (Hansen *et al.* 1995; Villaseñor y Aimers 2009; Villaseñor 2010).

De igual forma, en los estudios efectuados en los estucos de Teotihuacan, Magaloni (1995) establece fases técnicas por medio de la observación con microscopio electrónico de la estratigrafía de los distintos aplanados. Sin embargo, cabe señalar que Magaloni llama incorrectamente “cuarzo volcánico” al material que aparece a partir de la fase técnica II, pues claramente se trata de esquirlas de vidrio volcánico. Debido a que este vidrio volcánico —que también ha sido identificado en otros estudios— no se encuentra en el valle de Teotihuacan, este rasgo parece haber sido un intento deliberado por parte de los teotihuacanos para buscar cualidades específicas en los estucos.

En el estudio de las láminas delgadas del aplanado del piso de Teopancazco se aprecian esquirlas de vidrio volcánico que resultaron ser de composición riolítica (Barba *et al.* 2009), tal vez para la manufactura de materiales con propiedades puzolánicas. Los estucos puzolánicos son materiales más duros, menos porosos y que fraguan bajo el agua, los cuales se obtienen tras la reacción del vidrio volcánico y el hidróxido de calcio (Siddall 2000). Esto muy probablemente fue una característica tecnológica buscada repetidamente por los teotihuacanos en sus actividades constructivas, lo que debió de haber requerido de un amplio conocimiento empírico del medio físico y del comportamiento de las materias primas empleadas.

En el caso de la zona maya, también se han identificado esquirlas de vidrio volcánico (Villaseñor y Graham 2010), lo que parece indicar que los mayas conocían bien las reacciones puzolánicas² de la cal con el vidrio volcánico y mezclaban estos materiales de forma intencional. La identificación de capas delgadas de ceniza volcánica en perfiles de suelo, también conocidas como “microtefra” (Villaseñor y Graham 2010; Gunn *et al.* 2002), sugiere que estos materiales se encontraban al alcance en muchos sitios mayas de manera local o regional.

Cabe mencionar también el reporte preliminar de Villaseñor (2010: 118-124) acerca del uso de materiales meteoríticos en los estucos de Palenque. La incorporación de estos materiales fue quizá una acción deliberada por parte de los

² Las reacciones puzolánicas son las reacciones químicas que se producen entre materiales de sílice y alúmina reactivos con la cal apagada (hidróxido de calcio). Las reacciones resultan en silicatos y silico-aluminatos de calcio hidratados, los cuales confieren mayor dureza a la cal, así como la capacidad de fraguar bajo el agua. Las cales resultantes se conocen como cales puzolánicas.

palencanos con la intención de obtener reacciones puzolánicas. En dicho estudio se caracterizan vidrios de composición atípica y otros materiales que parecen corresponder a materiales de impacto, posiblemente del meteorito de Chicxulub, cuyo material de eyecta se ha encontrado en los estados de Chiapas, Tabasco y Quintana Roo, así como también en Belice y Guatemala. Sin embargo, es claro que se requieren más estudios experimentales y de caracterización de materiales arqueológicos, así como también de la prospección de yacimientos de impactitas (rocas meteoríticas) alrededor de Palenque, para poder entender de mejor manera el uso de posibles materiales meteoríticos en la manufactura de estucos en el sitio.

A pesar de estos reportes de materiales volcánicos y meteoríticos y de las discusiones acerca de la relevancia tecnológica de los estucos puzolánicos, no se han empleado las técnicas analíticas necesarias para la identificación de los compuestos hidráulicos, en específico la cuantificación de sílice soluble y los análisis de puzolanicidad (ver Van Balen *et al.* 1999). Cabe aclarar que los agregados calcáreos, especialmente si contienen minerales arcillosos, dificultan el análisis de sílice soluble y pueden confundirse con los compuestos hidráulicos (Álvarez *et al.* 1999).

El estudio de los pisos para identificar actividades humanas

Un aspecto relacionado con el estudio de los materiales constructivos ha sido la determinación de la distribución y concentración de distintas sustancias impregnadas en los pisos de cal y apisonados y que son indicativas de las actividades que se llevaban a cabo durante el momento de ocupación de las estructuras. El uso de la cal en los pisos favorece la integridad de estas superficies, lo que a su vez permite la conservación de los residuos impregnados en sus poros. Esto ha permitido el desarrollo de una nueva línea de investigación abierta por el Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la unam desde 1978 (Barba y Bello 1978) y que ha promovido el análisis de estos residuos para interpretar actividades humanas. Desde hace ya varias décadas, las investigaciones han identificado, principalmente en unidades habitacionales, que la concentración de ácidos grasos, residuos proteicos y fosfatos, entre otras sustancias, son el resultado de diversas actividades, tales como la limpieza, la preparación de alimentos y el desecho de materiales (Barba y Manzanilla 1987; Barba y Lazos 2000; Barba *et al.* 1996; Barba 2007; Middleton *et al.* 2010; Terry *et al.* 2004), lo cual ha sido comprobado con enfoques etnoarqueológicos (Barba y Ortiz 1992)

Otro estudio que ha permitido recuperar información sobre actividades humanas, mediante el estudio de aplanados de cal, es el realizado por Villaseñor *et al.* (2009) en el Grupo de las Cruces de Palenque, Chiapas. En estos aplanados se identificaron hasta 60 capas de hollín alternadas con lechadas de cal, lo cual sirvió como evidencia arqueológica directa de las prácticas rituales llevadas a cabo en estos templos, lo que se complementa con la evidencia indirecta de dichas prácticas, representada principalmente por los numerosos incensarios depositados en los basamentos de los templos (Cuevas 2007).

Los ejemplos anteriores muestran la importancia de los aplanados como un material arqueológico que contiene gran cantidad de información, por lo que debe evitarse la práctica de ignorarlos o desecharlos.

Tendencias recientes

Tal vez uno de los aspectos a destacar en los enfoques de estudios de materiales constructivos prehispánicos, y en general en los estudios de la tecnología antigua mesoamericana, es que ya no se admiten juicios evolucionistas, como solía suceder hace unas décadas, que comparan a las culturas y asignan diferentes grados evolutivos según las características tecnológicas.

Por otra parte, una de las tendencias recientes en el estudio de materiales constructivos prehispánicos es el empleo de técnicas analíticas sofisticadas. El desarrollo de equipos cada vez más sensibles y precisos ha permitido detectar y cuantificar con más detalle los componentes en concentraciones traza para la caracterización geoquímica y mineralógica de las materias primas empleadas en la fabricación de materiales constructivos, lo cual arroja información cada vez más precisa acerca de la explotación de depósitos geológicos específicos y por lo tanto sobre su procedencia. Aunado a estos avances analíticos, se encuentra el empleo de análisis estadísticos que permiten procesar los datos para establecer grupos y correlaciones entre los distintos materiales analizados.

Un ejemplo del uso de análisis estadísticos lo encontramos con Barba *et al.* (2009), quienes emplearon la espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo y ablación con láser para el análisis de pisos de cal de Teopanazgo (Teotihuacan). Este estudio con láser permitió a los autores obtener los elementos en concentraciones traza en los grumos de la cal empleada para la fabricación de estucos, y mediante el análisis estadístico se comparó contra la composición geoquímica de distintos afloramientos de rocas calizas les permitió confirmar que la piedra caliza empleada para la fabricación de cal fue traída de la zona de Tula, Hidalgo.

Otro aporte importante ha sido el empleo de técnicas de fechamiento directo en este tipo de estudios en estucos. Murakami *et al.* (2006) recientemente intentaron utilizar radiocarbono para la datación de estucos de Teotihuacan, mientras que Mathews (2001) logró fechar estucos de la región Yalahau, en el norte de Quintana Roo. El principio de esta técnica consiste en que el material calcáreo pierde dióxido de carbono fósil, CO_2 durante la calcinación y se convierte en óxido de calcio, CaO ; posteriormente, en el momento de fraguado, la cal incorpora CO_2 ambiental, lo que da inicio al tiempo cero para el fechamiento de radiocarbono. El análisis en este caso consiste en disolver la muestra de estuco con ácido, lo cual libera el CO_2 que se incorporó en el momento del fraguado y con el cual se realiza el procedimiento. Sin embargo, cabe mencionar que esta técnica ha resultado problemática en el caso de los estucos debido a que no se garantiza que la calcinación del material calcáreo haya sido total, por lo que parte de la cal puede tener carbono del momento de la formación de la piedra caliza y no del momento de manufactura de los estucos, lo que introduce un factor de error considerable. Por otra parte, y en especial en el caso de la zona maya, muchos estucos contienen agregados calcáreos, es decir, material calcáreo que no fue sometido a un proceso de calcinación y que por lo tanto contiene CO_2 del momento de la diagénesis de las rocas calizas. Debido a que no es posible la separación mecánica total de los agregados y la matriz —especialmente en el caso del sascab empleado en la zona maya, el cual contiene una fracción arcillosa importante—, el tratamiento de la muestra con ácidos disuelve de manera indiscriminada la cal y los materiales agregados calcáreos, lo cual ha producido resultados erróneos.

Otra técnica de fechamiento que ha sido empleada de manera reciente es el arqueomagnetismo, con la cual se han fechado estucos del Clásico y Posclásico provenientes de Teotihuacan y del Templo Mayor (Hueda-Tanabe *et al.* 2004). El principio de esta técnica radica en que las partículas magnéticas contenidas en la cal se alinean con el campo magnético durante la fase plástica del material antes del fraguado de la cal, después de lo cual se fija esta dirección. Hasta el momento se ha logrado determinar que las partículas con titanio y hierro en forma de impurezas en la mezcla son las responsables de esta alineación magnética. El Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica de la unam ha continuado con éxito estas determinaciones en diversos aplanados de cal (ver Hueda-Tanabe *et al.* 2004; Soler Arechalde *et al.* 2006).

Aspectos poco abordados

Un aspecto que a nuestro juicio ha sido poco abordado es el reporte y la discusión acerca del origen de los rasgos tecnológicos. En el caso de la cal, no se sabe exactamente dónde y cuándo surgió esta tecnología y si su adopción en el Altiplano Central fue el resultado de una innovación o se dio tras el intercambio tecnológico con otras culturas. En el caso de la zona maya, por ejemplo, los reportes más tempranos del uso de la cal en la arquitectura están en el sitio Cuello, en Belice, fechados entre 1000 y 600 aC (Hammond y Gerhardt 1990), en el sitio Nakbé, entre 900 y 600 aC (Hansen *et al.* 1997) y en el sitio Puerto Escondido, Honduras, entre 1000 y 900 aC (Joyce 2004: 19). No obstante, en este sentido cabe mencionar que muchos de los reportes arqueológicos hablan simplemente de “pisos” y muchas veces no se especifica si se trata de pisos de cal, sascab o tierra apisonada, lo que dificulta rastrear los orígenes de la producción de cal. Esto ocurre también con los reportes de la aparición de cal en contextos oaxaqueños, como en el caso de los pisos de San José Mogote, Oaxaca, en la fase de las Tierras Largas, alrededor del 900 aC (Flannery y Marcus 1990).

Como ya se mencionó, otro aspecto que ha sido poco discutido es la presencia e identificación de compuestos hidráulicos en los estucos mesoamericanos. En este sentido aún no se ha discutido la relevancia de la incorporación de material volcánico en los estucos ni se han analizado estos materiales con las técnicas adecuadas.

Por otra parte, entre los materiales constructivos, quizá aquellos que han sido menos estudiados y que representan la mayor parte del volumen constructivo, así como el mayor potencial arqueológico, son los materiales arcillosos que constituyen los rellenos de la arquitectura de tierra. Este desinterés se debe quizá a la relativa simplicidad y a la poca tecnología involucrada en el procesamiento de estos materiales por parte de las sociedades del pasado. Sin embargo, estos materiales revisten un gran interés debido a que contienen restos botánicos y otros materiales del momento de construcción, mismos que pueden ser usados para la reconstrucción del paleoambiente y para diversos estudios de geoarqueología y micromorfología. Gran parte de la arquitectura monumental prehispánica fue construida a base de tierra, sitios tales como los olmecas de La Venta, San Lorenzo Tenochtitlan y Tres Zapotes en la costa del Golfo, así como también Casas Grandes en Chihuahua, la estructura C1 de Cholula, Puebla, y la arquitectura de la Joya en Veracruz. De igual forma, la gran mayoría de la arquitectura doméstica prehispánica fue construida con tierra, ya fuera con adobes o con la técnica de bahareque, en donde la estructura de carrizos se cubría con aplanados de lodo.

Estas técnicas siguen aún vigentes en gran parte del territorio mexicano debido a su facilidad constructiva, la economía de sus materiales y el aislamiento térmico que proveen al interior de los espacios (Guerrero Baca 2007).

A nuestro parecer, otro de los aspectos menos abordados en el estudio de materiales y técnicas constructivas prehispánicas es la dimensión antropológica de la tecnología, es decir, la explicación de la variabilidad tecnológica en su dimensión sociocultural. De esta forma, aspectos como la organización social de la producción, los aspectos cognitivos y rituales relacionado con ésta, la “agencia” involucrada en la toma de decisiones tecnológicas y las dinámicas sociales y políticas que impactan en el trabajo tecnológico, han constituido temas secundarios o asumidos cuando se describe la caracterización de las materias primas o la procedencia de las mismas. Cabe mencionar que esto no es algo exclusivo de los estudios de materiales constructivos en la arqueología mesoamericana, sino que se extiende a muchas otras áreas culturales del estudio de la tecnología dentro del ámbito de la arqueología (Schiffer 2001). Algunos de los factores que quizá promueven la poca discusión antropológica de la tecnología son el escaso intercambio académico entre arqueólogos y antropólogos sociales e incluso la poca interacción dentro de las subdisciplinas de la arqueología, en donde la caracterización de materiales constituye un campo especializado que dificulta la comunicación con los especialistas de las distintas áreas. Otra razón puede ser el formato corto en que se publican los estudios arqueométricos en las revistas especializadas y que dificulta la discusión teórica de los resultados. Cabe mencionar que la arqueología mesoamericana es extremadamente rica en la diversidad de fuentes que pueden ser empleadas para lograr interpretaciones integrales, ya que se cuenta con iconográficas, etnográficas, etnohistóricas y en ocasiones incluso evidencia glífica. Es por esto que creemos que el estudio de materiales y técnicas constructivas prehispánicas puede ser usado para construir ricas interpretaciones de una antropología de la tecnología de las sociedades del pasado.

Conclusiones

El estudio de materiales constructivos representa un área poco explorada en la investigación arqueológica mesoamericana. Aunque existen algunos estudios de caracterización y recientemente se han efectuado intentos de fechamiento, existe todavía un largo camino por recorrer en cuanto a la reflexión de los procesos socioculturales relacionados con la industria de la construcción, así como en cuanto a la detección de las zonas de producción y procesamiento de los materiales constructivos.

Dentro de los materiales más analizados se encuentran los estucos, especialmente en la zona maya y en Teotihuacan, pero faltan aún muchos estudios acerca de los materiales pétreos y arcillosos que constituyen el resto del vasto patrimonio arqueológico inmueble. Existen asimismo valiosos esfuerzos por cuantificar el trabajo y los recursos materiales demandados en las actividades constructivas, aunque la falta de precisión de los datos ha resultado en posturas radicalmente diferentes en cuanto a la conceptualización de la demanda laboral y el impacto ambiental que tuvieron estas actividades.

Referencias

- Abrams, Elliot M.
 1984 *Systems of labor organization in Late Classic Copan, Honduras: the energetics of construction*, The Pennsylvania State University, University Park.
 1994 *How the Maya Built Their World: Energetics and Ancient Architecture*, University of Texas Press, Austin.
- Abrams, Elliot M. y Ann Corinne Freter
 1996 A Late Classic lime-plaster kiln from the Maya centre of Copan, Honduras, *Antiquity* 70: 422-428.
- Abrams, Elliot M. y David Rue
 1988 The causes and consequences of deforestation among the prehistoric Maya, *Human Ecology* 16: 377-395.
- Abrams, Elliot M. y Thomas W. Bolland
 1999 Architectural energetics, ancient monuments, and operations management, *Journal of Archaeological Method and Theory* 6 (4): 263-291.
- Álvarez, José Ignacio, Antonio Martín, Pedro García Casado, Íñigo Navarro y Aránzazu Zornoza
 1999 Methodology and validation of a hot hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars, *Cement and Concrete Research* 29: 1061-1065.
- Barba, Luis A.
 2007 Chemical residues in lime-plastered archaeological floors, *Geoarchaeology* 22 (4): 439-452.
- Barba, Luis A. y Agustín Ortiz
 1992 Análisis químico de pisos de ocupación: un caso etnográfico en Tlaxcala, Mexico, *Latin American Antiquity* 3: 63-82.

- Barba, Luis, Agustín Ortiz, Karl Link, Leonardo López Luján y Luz Lazos
 1996 Chemical analysis of residues in floors and the reconstruction of ritual activities at the Templo Mayor, Mexico, M. V. Orna (comp.) *Archeological chemistry. Organic, inorganic, and biochemical analysis*, American Chemical Society, Washington: 139-156.
- Barba, Luis Alberto y Gregorio Bello
 1978 Análisis de fosfatos en el piso de una casa habitada actualmente, *Notas Antropológicas* 1, nota 24: 188-193.
- Barba, Luis, Jorge Blancas, Linda Manzanilla, Agustín Ortiz, Donatella Barca, Gino Crisci, Domenico Miriello y Alessandra Pecci
 2009 Provenance of the limestone used in Teotihuacan (Mexico): a methodological approach, *Archaeometry* 51 (4): 525-545.
- Barba, Luis A. y José Luis Córdova Frunz
 1999 Estudios energéticos de la producción de cal en tiempos teotihuacanos y sus implicaciones, *Latin American Antiquity* 10 (2): 168-179.
 2010 *Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Barba, Luis A. y Luz Lazos
 2000 Chemical analysis of floors for the identification of activity areas: a review, *Antropología y técnica* 1: 59-70.
- Barba, Luis A. y Linda Manzanilla
 1987 Estudio de áreas de actividad. Linda Manzanilla (ed.), *Cobá, Quintana Roo: análisis de dos unidades habitacionales mayas*, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 69-115.
- Castanzo, Ronald A.
 2004 [en línea] Tepeaca Kiln Project, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Inc., <<http://www.famsi.org/reports/02021/>> [consulta: octubre 2009].
- Castanzo, Ronald A. y J. Heath Anderson
 2004 [en línea] Formative period lime kilns in Puebla, Mexico, *Mexican Journal of Mesoamerican Studies* XXVI: 86-90 <http://www.mexicon.de/mxv_2604.html> [consulta: octubre 2008].
- Crisci, Gino M., Mariano Davoli, Anna Maria de Francesco, Francesco Gagliardi, Caterina Gattuso, Petronilla Mercurio y Domenico Miriello
 2002 L'analisi compositiva delle malte, un valido mezzo per mezzo di risalire alle fasi costruttive. Risultati preliminari, *Atti del II Congresso Nazionali de Archeometria, Associazione Italiana di Archeometria*, Patron, Bolonia: 485-494.

Crisci, Gino M., Marco Franzini, Marco Lezzerini, Tiziano Mannoni y María Pia Riccardi

2004 Ancient mortars and their binders, *Periodico di Mineralogia* 73: 259-268.

Cuevas García, Martha

2007 *Los incensarios efigie de Palenque. Deidades y rituales mayas*, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Antropología e Historia-Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (Testimonios y materiales arqueológicos para el estudio de la cultura maya, 1).

Durán, Diego

1994 *The History of the Indies of New Spain*, trad. y comentario de Doris Heyden, University of Oklahoma Press (The Civilization of the American Indian Series, 210), Norman.

Flannery, Kent V. y Joyce Marcus

1990 Borrón y cuenta nueva: setting Oaxaca's archaeological record straight. Joyce Marcus (ed.), *Debating Oaxaca archaeology*, Museum of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor: 17-69.

Grove, David C.

1987 Raw materials and sources. D. C. Grove (ed.), *Ancient Chalcatzingo*, University of Texas Press, Austin: 376-386.

Grove, David C. y Ann Cyphers Guillén

1987 The excavations. D. C. Grove (ed.), *Ancient Chalcatzingo*, University of Texas Press, Austin: 21-55.

Guerrero Baca, Luis Fernando

2007 Arquitectura en tierra: hacia la recuperación de una cultura constructiva, *Apuntes* 20 (2): 182-201.

Gunn, Joel, John E. Foss, William J. Folan, María R. Domínguez-Carrasco y Betty B. Faust

2002 Bajo sediments and the hydraulic system of Calakmul, Campeche, Mexico, *Ancient Mesoamerica* 13: 297-315.

Hammond, Norman y Juliette C. Gerhardt

1990 Early maya architectural innovation at Cuello, Belize, *World Archaeology* 21 (3): 461-481.

Hansen, Eric F., Carlos Rodríguez-Navarro y Richard Hansen

1997 Incipient maya burnt-lime technology: characterization and chronological variations in Preclassic plaster, stucco and mortar at Nakbe, Guatemala. P.

B. Vandivier, J. R. Druzik, J. F. Merkel y J. Stewart (eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology V*, Materials Research Society, Pittsburgh: 207-216.

Hansen, Eric F., Richard D. Hansen, y Michelle R. Derrick

- 1995 Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbé: resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de producción, *Memorias del VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 1994*, Museo Nacional de Antropología y Etnología, Guatemala: 456-470.

Hernández Morales, María del Rocío

- 1995 Materiales constructivos empleados en el sitio de Cuthá, Zapotitlán Salinas, Puebla, *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos* XLI: 177-189.

Hueda-Tanabe, Yuki, Ana M. Soler-Arechalde, Jaime Urrutia Fucugauchi, Luis A. Barba, Linda Manzanilla, Mario Rebolledo Vieyra y Avto Goguitchaichvili

- 2004 Archaeomagnetic studies in central Mexico—dating of Mesoamerican lime-plasters, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 147: 269-283.

Joyce, Rosemary A.

- 2004 Unintended consequences? Monumentality as a novel experience in Formative Mesoamerica, *Journal of Archaeological Method and Theory*, Recent Advances in the Archaeology of Place 11 (1): 5-29.

López Luján, Leonardo, Jaime Torres y Aurora Montúfar

- 2003 Tierra, piedra y madera para el Templo Mayor de Tenochtitlan, *Arqueología Mexicana* XI (64): 70-75.

Magaloni, Diana

- 1995 El espacio pictórico teotihuacano. Tradición y técnica. B. Fuente y L. Staines (eds.), *La pintura mural prehispánica en México. I. Teotihuacan*, Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 187-226.
- 1998 El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak. B. Fuente y L. Staines (eds.), *La pintura mural prehispánica en México. II. Bonampak*, Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 49-80.

Magaloni, Diana Richard Newman, Víctor Castaño Baños, Renato Pancella e Y. Fruh

- 1995a An analysis of Mayan painting techniques at Bonampak, Chiapas, Mexico. P. Vandivier, J. Druzik, J. Galván, I. Freestone y G. Wheeler (eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology IV*, Materials Research Society, Pittsburgh: 381-388.

Magaloni, Diana, Renato Pancella, Y. Fruh, Jaqueline Cañetas y Víctor Castaño

- 1995b Studies on the Maya mortars technique. P. Vandivier, J. Druzik, J. Galván, I. Freestone y G. Wheeler (eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology IV*, Materials Research Society, Pittsburgh: 483-489.

Magaloni, Diana, T. Falcón, J. Cama, R. W. Siegel, R. Lee, R. Pancella, L. Baños y V. Castaño

- 1992 Electron microscopy studies of the chronological sequences of Teotihuacan plaster technique. P. Valdivier, J. Druzik, G. Wheeler e I. Freestone (eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology III*, Materials Research Society, Pittsburgh: 997-1005.

Marquina, Ignacio

- 1990 [1951] *Arquitectura prehispánica*, facsímil de la primera edición de 1951, Instituto Nacional de Antropología e Historia-Secretaría de Educación Pública, México.

Mathews, Jennifer P.

- 2001 Radiocarbon dating of architectural mortar: a case study in the Maya region, Quintana Roo, Mexico, *Journal of Field Archaeology* 28 (3): 395-400.

Middleton, William D., Luis Barba, Alessandra Pecci A. James H. Burton, Agustín Ortiz, Laura Salvini y Roberto Rodríguez Suárez

- 2010 The study of archaeological floors: methodological proposal for the analysis of anthropogenic residues by spot tests, ICP-OES, and GC-MS, *Journal of Archaeological Method and Theory* 17: 183-208.

Miriello, Domenico, Donatella Barca, Gino M. Crisci, Luis Barba, Jorge Blancas, Agustín Ortiz, Alessandra Pecci y Leonardo López Luján

- en prensa Characterization and provenance of lime plasters from the Templo Mayor of Tenochtitlan (Mexico City), *Archaeometry*.

Morris, Earl H., Jean Charlot y Ann Axtell Morris

- 1931 *The Temple of the Warriors at Chichen Itzá, Yucatán*, Carnegie Institute of Washington, Washington.

Murakami, Tatsuya, Gregory W. L. Hodgins, A. J. Vonarx y Arleyn Simon

- 2006 "Radiocarbon dating Mesoamerican plasters: studies from Teotihuacan", ponencia presentada en International Symposium of Archaeometry, 2nd-6th May 2006, Quebec.

Russell Bradley W. y Bruce H. Dahlin

- 2007 Traditional burnt-lime production at Mayapán, *Journal of Field Archaeology* (32): 407-423.

Schiffer, Michael B.

- 2001 Towards an anthropology of technology, Michael B. Schiffer (ed.) *Anthropological Perspectives on Technology*, Amerind Foundation (New World Series, 5) University of New Mexico Press, Albuquerque: 1-15.

Schreiner, Thomas

- 2002 *Traditional Maya Lime Production: Environmental and Cultural Implications of a Native American Technology*, tesis, Department of Architecture, University of California, Berkeley.

Siddall, R.

- 2000 The use of volcanoclastic material in Roman hydraulic concretes: a brief review, McGuire, B., D. Griffiths y I. Setwart, *The Archaeology of Geological Catastrophes*, (Special Publications, 171), Geological Society, Londres: 339-344.

Soler-Arechalde, Ana. M., F. Sánchez, M. Rodríguez, Cecilia Caballero Miranda, Avto Goguitchaichvili, Jaime Urrutia-Fucugauchi, Linda Manzanilla y D. H. Tarling

- 2006 Archaeomagnetic investigation of oriented pre-Columbian lime plasters from Teotihuacan, Mesoamerica, *Earth Planet Space* 58: 1433-1439.

Terry, Richard, Fabián Fernández, J. Jacob Parnell y Takeshi Inomata

- 2004 The story in the floors: chemical signatures of ancient and modern Maya activities at Aguateca, Guatemala, *Journal of Archaeological Science* 31 (9): 1237-1250.

Torres Montes, Luis y Manuel Reyes García

- 2009 Análisis de los materiales constructivos del convento. *El Rescate y la Restauración del Real Colegio de Santa Rosa de Viterbo*, Gobierno del Estado de Querétaro, Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Querétaro.

Tozzer, Alfred M.

- 1966 *Landa's Relación de las cosas de Yucatán*, Harvard University (Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology XVIII), Cambridge.

Van Balen, K., E. E. Toumbakari, M. T. Blanco, J. Aguilera, F. Puertas, C. Sabbioni, G. Zappia, C. Riontino y Gobi, G.

- 1999 Procedure for a mortar type identification: a proposal, *International RILEM workshop on historic mortars: characteristics and tests proceedings of the historic mortars*, rilem, Bagneux: 61-70.

Villaseñor, Isabel

- 2010 *Building materials of the ancient Maya. A study of archaeological plasters*, Lambert, Saarbrücken.

Villaseñor, Isabel y Elizabeth Graham

- 2010 The use of volcanic materials for the manufacture of pozzolanic plasters: A preliminary report, *Journal of Archaeological Science* 37: 1339-1347.

Villaseñor, Isabel y James Aimers

- 2009 Una de cal por las que van de arena: un estudio diacrónico de los estucos de Calakmul y Palenque, *Estudios de Cultura Maya* XXXIII: 25-50.

Villaseñor, Isabel, Martha Cuevas García y Luis Barba Pingarrón

- 2009 Indicadores de actividad ritual en los templos del Grupo de las Cruces de Palenque, Chiapas. *Memorias del XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, 21-26 de julio 2008, Museo Nacional de Antropología y Etnología, Guatemala.

Villegas, Mercedes, Ximena Vázquez, D. Ríos, Leticia Baños y Diana Magaloni

- 1995 Relative dating of the stucco relieves at Palenque, Chiapas based on variation of material preparation. P. Vandivier, J. Druzik, J. Galván, I. Freestone y G. Wheeler (eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology IV*, Materials Research Society, Pittsburgh: 469-481.

Webster, David y Jennifer Kirker

- 1995 Too many Maya, too few buildings: investigating construction potential at Copán, Honduras, *Journal of Anthropological Research* 51: 363-387.

Wernecke, D. Clark

- 2008 A burning question: Maya lime technology and the Maya forest, *Journal of Ethnobiology* 28 (2): 200-210.