

Los orígenes tecnológicos de la cal

Isabel Villaseñor Alonso

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH

Luis Barba Pingarrón

Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM

RESUMEN: En este artículo hacemos una revisión de los sitios arqueológicos en donde se ha reportado el uso temprano de la cal en la arquitectura, con la finalidad de entender la forma en que esta tecnología fue inventada y posteriormente difundida a las distintas regiones de México y Centroamérica. Con base en nuestro análisis proponemos que las tierras bajas mayas, el valle de Oaxaca y la región de Puebla-Tlaxcala constituyen las tres zonas con el uso más temprano de la cal; por lo tanto, son las dos primeras zonas donde probablemente se inventó esta tecnología de manera independiente. Asimismo, discutimos las problemáticas de datación y caracterización de los materiales a base de cal.

PALABRAS CLAVE: *cal, invención, historia de la tecnología, estucos, aplanados*

ABSTRACT: In this article we review the archaeological sites where the early use of lime in architecture has been reported, the aim being to understand how this technology was invented and its diffusion to other regions of Mexico and Central America. Based on our analysis, we propose that the lowland Maya areas, the Valley of Oaxaca and the Puebla-Tlaxcala region were the three zones in which this technology was first used, the two initial areas being the regions in which the technology was independently invented. Moreover, we discuss the issues related to the dating process and the characterization of the lime-based elements.

KEYWORDS: *lime, invention, technological history, stuccos, plasters*

INTRODUCCIÓN

La cal ha sido un material muy importante para la vida de las culturas en el continente americano. Desde el punto de vista de la construcción pública, la cal fue necesaria para el desarrollo de la arquitectura de mampostería y para la manufactura de los materiales que se utilizaron en los recubrimientos arquitectónicos. La cal también fue y sigue siendo utilizada para el pro-

cesamiento del maíz, con lo cual se mejoran las propiedades nutricionales de este grano.

La producción de cal requiere del entendimiento empírico de las transformaciones que sufre el material calcáreo durante su producción, así como también del dominio del fuego y de la obtención y control de altas temperaturas para lograr alta eficiencia en los cambios químicos que se llevan a cabo durante la calcinación. Debido al tiempo de exposición y a las altas temperaturas que requiere este material, la producción de cal es una actividad demandante de combustible y fuerza laboral, especialmente cuando se utiliza en grandes cantidades para la arquitectura monumental.

A pesar de la relevancia de la cal en los ámbitos de la construcción y la alimentación, así como de las demandas energéticas que implica su producción, el origen tecnológico de este material ha sido poco estudiado, por lo que las implicaciones socioculturales y ambientales de este descubrimiento y posterior establecimiento en las distintas regiones no han sido analizadas a profundidad.

Aun cuando las obras públicas y la arquitectura monumental han sido consideradas con frecuencia como uno de los indicadores de desarrollo de la complejidad sociocultural, no se han abordado las cuestiones tecnológicas y la invención de materiales que permitieron el desarrollo de tipologías arquitectónicas específicas, ni tampoco las implicaciones laborales y energéticas para la explotación y el procesamiento de las materias primas necesarias para su construcción. La falta de discusión acerca del origen tecnológico de este material se deriva, en parte, del desconocimiento generalizado que existe en el área de arqueología de los procesos involucrados en su producción, así como también a las pocas evidencias de zonas de producción identificadas en el registro arqueológico.

Con la finalidad de entender las implicaciones sociales de la invención y desarrollo de la tecnología de la cal, hacemos una breve reflexión acerca de los aspectos antropológicos de la tecnología. Por otra parte, con la intención de compilar y rastrear el origen de la producción y uso de la cal en Mesoamérica, llevamos a cabo una revisión de los reportes publicados en donde se mencionan los usos más tempranos de la cal en la arquitectura. Debido a que los reportes de sitios arqueológicos con evidencia de producción de cal son escasos, por el momento consideraremos el uso de argamasas de cal en la arquitectura como la evidencia más temprana de la producción y uso local de este material.

LA INVENCIÓN TECNOLÓGICA Y LA ANTROPOLOGÍA DE LA TECNOLOGÍA

La discusión acerca del surgimiento de los rasgos tecnológicos y el desarrollo de la complejidad sociocultural ha sido un tema poco abordado en la investigación arqueológica en México, en comparación con el estudio de los colapsos de las sociedades complejas. Más aún, dentro del estudio del surgimiento de rasgos culturales, la investigación se ha enfocado en temas como los orígenes de la escritura, el calendario, la agricultura y la astronomía, pero poco en la invención de rasgos tecnológicos. De igual forma, la transmisión tecnológica y la adopción por parte de otros grupos sociales es un aspecto poco tratado en la investigación arqueológica, ya que ésta se ha enfocado sobre todo en la discusión sobre el intercambio de bienes pero no en la transmisión y adopción del conocimiento tecnológico [Barba y Córdova, 2010:61]. En ocasiones también el tema de desarrollo y adopción tecnológica ha sido evitado debido a su asociación con enfoques evolucionistas o difusiónistas [Pfaffenberger 1992:491].

Más allá del recuento de las invenciones tecnológicas, es necesario discutir el tema desde el punto de vista teórico. ¿Cómo y bajo qué circunstancias se generan las invenciones tecnológicas? ¿Cuáles son las condiciones que se requieren para que se dé una invención? ¿Qué consecuencias trae la transmisión y adopción de ciertas tecnologías por parte de los distintos grupos sociales?

Las invenciones tecnológicas se dan en una compleja mezcla de factores ecológicos, económicos y sociales que difieren de manera importante en las distintas áreas culturales [Rice, 1999], por lo que los procesos tecnológicos se deben estudiar sólo dentro de su propio contexto cultural y cronológico, evitando comparaciones transculturales. En este sentido, cabe señalar que la invención de la cal en el continente americano ocurrió hace aproximadamente 3000 años, lo cual es mucho más tardío en comparación con otras áreas culturales, como el caso del Medio Oriente, en donde la cal se comenzó a usar hace aproximadamente 9000 años [Goren y Goring-Morris, 2008], lo que responde a distintos procesos socioculturales que no son comparables cronológicamente.

Los principales factores para la invención de una tecnología son la existencia de determinadas materias primas en la región, así como factores socioeconómicos, especialmente la organización social y la interacción con otros sitios [Rice, 1999:2]. Sin embargo, es importante diferenciar entre la invención tecnológica y su posterior adopción generalizada, como se explica más adelante.

Un gran reto para el estudio de la tecnología de la cal son las pocas evidencias arqueológicas de su producción. Sin embargo, existen fuentes

alternativas de evidencia, como la etnoarqueología, la arqueología experimental e, incluso, la evidencia glífica, que aportan información valiosa para el entendimiento de esta tecnología en el pasado.

Una fuente de información muy valiosa son los estudios etnoarqueológicos de la producción de cal en la zona maya, los cuales nos han ilustrado con la posible dimensión social, ritual y simbólica que pudo haber tenido la producción de este material en la época prehispánica. Russell y Dahlin [2007], y Schreiner [2002, 2003], por ejemplo, describen la producción de cal actual en las tierras bajas mayas, las connotaciones de transformación y fertilidad que se asocian a estos procesos, así como las ofrendas que se depositan en el área de producción. Cabe señalar que esta ritualidad guarda importantes semejanzas con la descripción de Ruiz de Alarcón [1984] acerca de la producción de cal en el Altiplano Central durante el siglo XVII, en donde se describe a la cal, que nace como la mujer blanca, a partir de la transformación de la piedra, con la acción del fuego y el viento. Con base en las similitudes de las prácticas descritas, y a pesar de su gran distancia espacio-temporal, es evidente que dicha ritualidad y simbología comparte rasgos culturales con otros grupos sociales actuales de México y Centroamérica, por lo que consideramos que muchas de las culturas prehispánicas conferían significados y simbolismos similares a los ejemplos de producción de cal aquí descritos.

En este sentido, es importante enfatizar, como argumenta Pfaffenberger [1988], que la tecnología tiene dimensiones sociales y simbólicas que se insertan en contextos culturales específicos, y que las tecnologías no son conocimientos dados, sino una serie de prácticas inventadas, recreadas e implementadas a lo largo del tiempo. Así, la adopción de dichas prácticas tiene un impacto importante en las formas sociales y culturales de los grupos sociales, por lo que su estudio requiere de un profundo análisis antropológico [Pfaffenberger, 1988].

LOS INICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE CAL: ¿DESCUBRIMIENTO O INVENCIÓN?

Como sucede con la mayoría de los grandes descubrimientos de la humanidad, es posible que las propiedades químicas de la cal se hubieran descubierto de manera accidental, para lo cual habría bastado la conjunción del fuego, material calcáreo y agua. Incluso es posible que el descubrimiento accidental de las propiedades de la cal se hubiera dado en grupos nómadas, aunque, sin duda, el dominio, desarrollo y adopción generalizada de esta tecnología se dio en sociedades sedentarias para su uso en arquitectura.

Una posible forma de descubrimiento accidental es la del calentamiento del agua con piedras calientes. Esta técnica, que consiste en el calentamiento previo de fragmentos de roca que se introducían en un recipiente con agua, parece haber sido usada de manera frecuente en la zona maya para la preparación de alimentos durante el Preclásico, ya que, con frecuencia, la cerámica utilitaria de este periodo no presenta evidencias de quemado en sus superficies exteriores, lo que sugiere el calentamiento de los líquidos con piedras calientes [Coe, 1994:8]. En el caso de que se hubiera utilizado piedra caliza para el calentamiento de agua, se habría observado inmediatamente que existía una reacción violenta y que la piedra se deshacía, para posteriormente dejar un residuo duro tras la evaporación del agua. Es probable, entonces, que los mayas hubieran observado estas propiedades en el ámbito doméstico y que posteriormente las hubieran aprovechado para otros fines. Otra posibilidad es el derramamiento de agua sobre las piedras calizas del fogón, ya que aquí también se habría observado una reacción violenta con el agua, una pasta modelable y, posteriormente, un producto blanco que endurecía después de un tiempo.

Sin embargo, cabe mencionar que existe una gran distancia entre el descubrimiento empírico de las propiedades de la cal (por ejemplo, la observación de los cambios físicos y químicos que se llevan a cabo durante la calcinación y posterior mezcla con agua) y su producción especializada y/o intensiva para ser usada a gran escala. Para esto último no basta que un grupo de gente entienda de manera empírica el proceso de producción de cal y que cuente con las herramientas pirotecnológicas necesarias, sino que se requiere de una determinada organización social y de la inserción de la tecnología en los requerimientos materiales y simbólicos de un grupo social. Existe, así, una gran diferencia entre los primeros momentos de descubrimiento tecnológico y el empleo de grandes volúmenes de cal para su uso en arquitectura, así como también existe una gran diferencia entre los usos incipientes de la cal —por ejemplo como una capa de lechada de cal en objetos cerámicos o arquitectura de tierra— y el perfeccionamiento en la selección de materias primas, calcinación, apagado, e incluso el uso de aditivos orgánicos para mejorar las propiedades de las argamasas de cal, tal y como sucedía en la zona maya en el momento del contacto con los españoles [Tozzer, 1966:176].

De igual forma, no necesariamente existe una relación entre los comienzos de una tecnología y las evidencias más tempranas de su uso o producción detectadas en el registro arqueológico, por lo que es importante tener en cuenta que los reportes más tempranos que tenemos del uso de la cal como recubrimiento en la arquitectura y en la cerámica datan muy

probablemente de siglos más tardíos al descubrimiento y los primeros usos de este material. Aun con estas consideraciones en mente, en este escrito nos concentramos en los ejemplos más tempranos en que se ha reportado el uso de la cal en Mesoamérica, con el fin de establecer cuáles fueron las probables zonas de invención desde donde se difundió este conocimiento tecnológico.

Una característica peculiar de los materiales constructivos a base de cal es que, debido a que tienen que ser aplicados *in situ*, forzosamente requieren de la adopción de tecnologías por parte de la población local, aun cuando en ocasiones las materias primas son importadas de otras localidades, como en el caso de Teotihuacan, que se describe posteriormente. Esto contrasta con otros materiales arqueológicos, como la cerámica, que no necesariamente fueron manufacturados en los sitios de donde han sido recuperados en excavación. Esto implica que los materiales de cal sean mejores indicadores del conocimiento tecnológico local que la mayoría de los materiales arqueológicos.

RELEVANCIA E IMPLICACIONES DE LA INVENCIÓN Y EL USO DE LA CAL

Actualmente la cal se utiliza en muchas comunidades indígenas para diversos fines, incluyendo el procesamiento del maíz, la utilización en la arquitectura, el reblandecimiento de fibras, la estabilización de suelos ácidos y como repelente de insectos. Se cree que muchas de las técnicas de producción tradicionales, así como los usos actuales de este material, se derivan de prácticas y tecnologías prehispánicas.

Gran parte de los acabados arquitectónicos prehispánicos, especialmente aquellos de arquitectura pública y residencial de élite, fueron hechos con aplandados de cal. Estos materiales están constituidos por mezclas de cal y materiales agregados,¹ los que forman pastas plásticas que se aplican como morteros de rejunteo o como aplandados o relieves en la arquitectura. Estos materiales de cal aportan características visuales y de protección específicas, y se conservan muy bien en el registro arqueológico. Los aplandados de cal en la arquitectura favorecieron también el desarrollo de las expresiones pictóricas en muchos sitios, especialmente la pintura mural,

¹ Los agregados son los materiales inertes que se mezclan con la cal apagada para posteriormente ser aplicados sobre superficies arquitectónicas. Estos materiales inertes suelen ser arenas y gravas locales de diversas mineralogías.

pues proporcionan la superficie ideal en términos de aspecto y durabilidad para la expresión visual.

Incluso hoy en día la cal se sigue utilizando en muchas zonas de México y Centroamérica, lo que provee de protección a la arquitectura. Se sabe, por ejemplo, que si se aplica una lechada de cal² sobre los aplanados de tierra en la arquitectura de bahareque, ésta se conserva adecuadamente entre 15 y 25 años, mientras que si no se aplica la lechada de cal, solamente se conserva entre 3 y 7 años [Bryant *et al.*, 1988]. La cal también desempeñó un papel importante en el desarrollo de los sistemas y tipologías constructivos, ya que, gracias a su poder cementante, permite vencer el ángulo de reposo de los materiales de tierra y edificar así estructuras más altas y con mayores ángulos de inclinación.

La utilización de pisos y recubrimientos de cal en la arquitectura sin duda jugó también un papel importante en la higiene de las sociedades prehispánicas. Se sabe, por ejemplo, que en los pisos de tierra apisonada pueden acumularse y reproducirse ciertos insectos como son ciertas garrapatas, larvas de pulgas, ácaros e insectos hematófagos como la *Triatoma dimidiata*, este último el responsable de la propagación de la enfermedad de Chagas, una enfermedad endémica frecuente en las zonas tropicales del continente americano. Sin embargo, se ha demostrado que la infestación de estos insectos se reduce de manera significativa cuando los pisos de tierra son reemplazados por cemento o pisos de cal [Schofield y White, 1984], lo que, sin duda, permitió la urbanización y el aumento de la densidad poblacional en el pasado.

Otro aspecto primordial de la invención de la cal es su repercusión en la dieta y la subsistencia de las poblaciones antiguas y contemporáneas. Cuando el maíz se sumerge en agua con cal, los granos se reblandecen y se facilita la remoción del pericarpio. Con este tratamiento también mejoran notablemente las propiedades nutricionales del maíz, especialmente en los contenidos de calcio, lisina, triptófano y niacina [Wright, 1999:206]. Esta práctica de remojo con cal, conocida también con el nombre náhuatl del *nixtamal*, fue inventada y desarrollada en Mesoamérica, lo que, sin duda, contribuyó a la subsistencia de las poblaciones y al desarrollo sociocultural desde la época prehispánica. Actualmente el maíz nixtamalizado constituye un alimento importante en la dieta básica de muchos sectores sociales de México y Centroamérica. Los contenidos elevados de niacina que resultan

² Se conoce como lechada de cal a una capa muy delgada de cal mezclada con agua, que se aplica sobre una superficie a modo de pintura.

del procesamiento con cal son relevantes debido a que la deficiencia de esta vitamina produce pelagra, una enfermedad común en sociedades con altos consumos de maíz que no practican el procesamiento alcalino [Katz *et al.*, 1974].

Finalmente, otro aspecto relevante en la invención y adopción de la tecnología de la cal se refiere a la obtención de superficies adecuadas para la captación y el almacenamiento de agua. A diferencia de las superficies de tierra o sedimentos compactados, los recubrimientos de cal proveen una superficie mucho menos permeable. Existen múltiples ejemplos de arquitectura prehispánica en donde los techos, recubrimientos y pisos sirvieron para la captación y conducción del agua de lluvia hacia cisternas o reservorios, pero quizás el ejemplo más temprano está en el sitio de Nakbé, donde se han encontrado canales cubiertos de estuco destinados al transporte y recolección de agua, lo que nos habla de la centralización del trabajo y el control administrativo durante el Preclásico Medio [Hansen, 1992:176]. De manera más tardía, en el caso de la zona Puuc, en la zona maya, la construcción de cisternas, o *chultunoob'*, incorporaba recubrimientos de cal, a menudo en varias capas, para disminuir la permeabilidad y mejorar así la capacidad de almacenamiento del agua [Matheny, 1982:164], lo cual era fundamental para asegurar el sustento de las poblaciones durante la época de secas.

Más allá de beneficios prácticos del uso de la cal, la arquitectura de mampostería, que se dio de manera inseparable con los morteros y aplandados de cal, representó un símbolo de poder y estatus social, y formaba parte de la expresión e identidad cultural de las élites [Kowalski, 1999; Hansen, 2000], especialmente en la zona maya, donde los aplandados y relieves de cal fueron usados con mayor profusión. Los centros cívico-ceremoniales y los templos y residencias de élite ahí construidos se manifestaban como símbolos de poder, en clara contraposición con la arquitectura doméstica realizada con materiales perecederos. Esta simbología y asociación con el poder seguramente estimularon el uso continuado de estas tipologías y promovieron la creación y emulación de superficies estucadas. Incluso en el Popol Vuh, el libro sagrado de los mayas quichés, se describe en un tono poético la aplicación de pisos y recubrimientos de cal durante la fundación de Chi Izamachi, la montaña-ciudadela de los quiché [Christenson, 2003: 262, 274], en donde queda de manifiesto que la cal se asociaba con la gloria y el establecimiento de las dinastías reinantes.

Como ya se mencionó, la producción de cal, debido a las altas temperaturas que requiere, demanda de una cantidad importante de combustible, lo que ha hecho que algunos investigadores se cuestionen sobre el impacto am-

biental que esta tecnología debió de haber causado en épocas prehispánicas. Sin embargo, existe una gran discrepancia en las opiniones a este respecto, lo que se deriva de la falta de precisión de los datos, así como del uso de cálculos erróneos. Abrams y Rue [1988], por ejemplo, consideran que sólo se requieren 1.1 m³ de madera para obtener 1 m³ de cal con técnicas tradicionales mayas, y con base en estos datos consideran que la tala anual de deforestación para la producción de cal en la antigua ciudad de Copán fue de 0.13 ha, lo que consideran despreciable. Sin embargo, contrastan drásticamente los datos obtenidos por Russell y Dahlin [2007], quienes piensan que en el caso de Mayapán se habrían talado 400 ha de bosque anualmente para los mismos fines. De igual forma, Schreiner [2002] ha reportado que se requiere mucha mayor cantidad que lo estimado por Abrams y Rue [1988], y calcula que se requieren 5 volúmenes de madera por cada volumen de cal viva producida con técnicas mayas preindustriales. Cabe mencionar que la investigación de Schreiner [2002] es hasta el momento la más sistemática y que, con base en un registro detallado de las prácticas de producción tradicional de cal con maestros caleros mayas, calcula con precisión las cantidades de madera requeridas para la producción de determinados volúmenes de cal.

Aun con estos avances en la investigación, es difícil estimar el impacto que la producción de cal tuvo en la deforestación de los sitios de las sociedades prehispánicas. Aunque parece ser que la demanda de combustibles fue alta, el impacto en la deforestación debe ser considerado no sólo en función de los cálculos de madera para la producción de cal, sino también en función de otros posibles factores de deforestación, así como de las tradiciones arquitectónicas locales, las cuales requieren de distintos volúmenes de cal. Sin estas consideraciones, no es posible extraer la evidencia de producción de cal de un solo sitio arqueológico o un solo periodo cronológico para inferir la deforestación de todos los períodos y todas las áreas culturales [Werneck, 2008].

EVIDENCIAS DE ZONAS DE PRODUCCIÓN EN EL REGISTRO ARQUEOLÓGICO

Como ya se mencionó, uno de los problemas que se tienen para rastrear el origen tecnológico de la cal, radica en los escasos ejemplos de zonas de producción que se han reportado en el registro arqueológico. Este problema no concierne exclusivamente a la tecnología de la cal, sino que atañe también a la producción cerámica y a otras pirotecnologías.

El estudio de la producción cerámica es relevante para la discusión acerca de la cal, ya que nos habla del dominio del fuego y las técnicas de

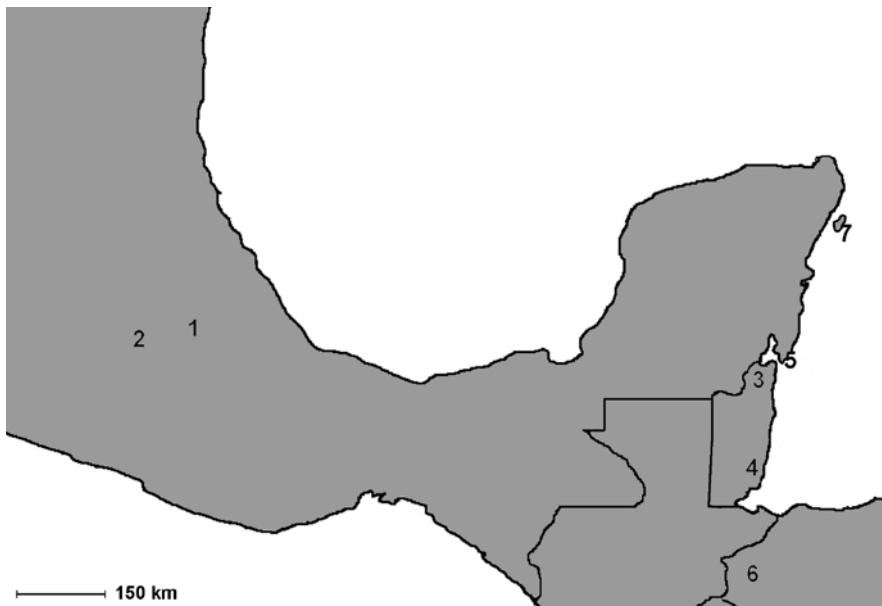
cocción, lo que pudo haber sentado las bases para la producción de cal o bien haberse desarrollado de manera paralela con esta tecnología. El análisis de los reportes de hornos de cerámica está fuera del alcance de este escrito, pero se remite al lector al estudio de Ciudad y Beaudry-Corbett [2002], quienes sintetizan la evidencia en este sentido. Algo que cabe mencionar, tal y como sucede con la tecnología de la cal, es que las evidencias arqueológicas de producción cerámica, tanto de Ejutla como de Monte Albán, ponen de manifiesto que se utilizaban hornos efímeros en donde la cerámica se quemaba a cielo abierto junto con el combustible, lo cual sugiere que mucha de la evidencia de la producción cerámica prehispánica ha permanecido sin ser detectada debido a las evidencias tan sutiles que deja este tipo de prácticas pirotecnológicas. Esto, a su vez, sugiere que existía una gran diversidad de técnicas de quemado que se encuentran subrepresentadas debido a las pocas excavaciones que se han llevado a cabo en zonas de producción cerámica, especialmente en ámbitos domésticos [Blakansy *et al.*, 1999].

Al igual que en el caso de la producción cerámica, existen muy pocas zonas de producción del cal para la época prehispánica. Los escasos ejemplos de producción de cal reportan restos de hornos efímeros o semipermanentes, en donde se han detectado restos de cal recarbonatada, suelo oscuro, piedra caliza quemada y restos de escoria.

La región de Tepeaca, en el actual estado de Puebla, ha sido una zona muy importante de producción de cal debido a los abundantes afloramientos de roca caliza que posee. Incluso el Códice Mendoza menciona que la región de Tepeaca pagaba 4 000 cargas de cal anualmente al imperio mexica. Castanzo [2004] describe 87 hornos, todos ellos abiertos, 37 de los cuales cuentan con evidencia de producción de cal. En estos hornos se recuperó material de los períodos Preclásico, Clásico, Postclásico y Colonial.

En Chalcatzingo, en el estado de Morelos, también existe evidencia de producción de cal. Grove [1987] describe la presencia de una capa delgada pero extensa encontrada en un estrato subyacente a depósitos de la fase Cantera (700-500 aC), lo que resulta la evidencia más temprana de producción de cal en toda Mesoamérica. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia del uso de la cal en la arquitectura temprana de Chalcatzingo, la cual consiste en basamentos de piedra y tierra, así como construcciones de adobe y bahareque. Para el periodo Clásico, la evidencia de producción de cal en Chalcatzingo es más clara, ya que existen tres hornos en las estructuras T4 y T23, que intruyen en estratos del Preclásico Medio, en donde se encontraron capas de piedras calizas, tierra quemada, carbón y ceniza [Arana, 1987].

Figura 1.
Sitios con evidencia prehispánica de producción de cal



1: Tepeaca, 2: Chalcatzingo, 3: Pulltrouser Swamp, 4: Placencia Lagoon,
 5: Ambergris Caye, 6: Copán, 7: Cozumel.

También en Morelos, Enrique Nalda excavó un horno de cal en el sitio de Hacienda de Calderón, cerca de Morelos [Nalda, 1997].

En Pulltrouser Swamp, Belice, se excavó un probable horno de fosa doble datado en el Preclásico [Ettlinger, 1983:170-73, citado en Schreiner, 2002], mientras que en el sitio de Laguna Placencia, también en Belice, MacKinnon y May [1990] reportan un sitio de producción de cal costero fechado en el Clásico Temprano.

Para el periodo Clásico Tardío se han reportado capas de cal en el sitio de Santa Cruz en Ambergris Caye, Belice [Mazzullo *et al.*, 1994], así como un elemento excavado recubierto de piedra y abierto en uno de sus extremos, que probablemente sirvió como horno de cal en Cozumel [Freidel y Sabloff, 1984:35 citado en Schreiner, 2002:95].

Hay también muchos otros elementos excavados que podrían haber sido hornos de cal, aunque su identificación no es segura [v. Schreiner,

2002:90-96], así como reportes de las Tierras Bajas del Norte, que mencionan piedras quemadas y restos de cal que se descubren al talar los árboles para la transformación de tierra de cultivo [Morris *et al.*, 1931:225].

El único reporte de un horno cerrado de cal fue publicado por Abrams y Freter [1996], quienes describen los restos de paredes de un horno cerrado construido con tierra mezclada con pasto, aunque esta interpretación ha sido puesta en duda por Schreiner [2002:95], quien considera que estas evidencias son los restos de un horno de cerámica.

Considerando las grandes cantidades en que se empleaba la cal en la época prehispánica, la evidencia de producción hasta ahora identificada resulta sumamente escasa. Creemos, como ya se mencionó, que las limitadas evidencias arqueológicas se deben a la dificultad de reconocer los restos de hornos abiertos efímeros. Otra probable explicación es que las zonas de producción de cal se encuentren en las afueras de los sitios, ya que es precisamente ahí donde existían los recursos forestales que servirían como combustibles, pero estas áreas no se han excavado de manera extensiva. Sumado a estas razones se encuentra el hecho de que las zonas de producción simplemente no se han buscado, ya que no ha sido un tema de interés para la arqueología.

LAS EVIDENCIAS TEMPRANAS DEL USO DE LA CAL

Debido a la limitada evidencia arqueológica de las zonas de producción de cal, las evidencias más tempranas del uso de este material corresponden a los estucos y recubrimiento arquitectónicos a base de cal, los cuales son más fácilmente detectables y se preservan de mejor manera en el registro arqueológico.

La zona maya

La invención y adopción de muchas tecnologías con frecuencia sucedió en zonas en donde abundaban las materias primas necesarias, tal y como ocurrió con la invención de la cerámica en zonas aluviales ricas en arcillas [Rice, 1999]. La zona de las Tierras Bajas Mayas, por encontrarse sobre una plataforma de rocas calizas, constituye un área probable para la invención de la cal debido a la presencia de abundantes recursos calcáreos. Más aún, la zona maya no sólo contaba con abundantes recursos naturales para la manufactura de cal —rocas calizas y madera para combustible—, sino también con una gran cantidad de asentamientos muy tempranos.

Los asentamientos más tempranos en la zona maya, tales como los que prosperaron en las Tierras Altas y la planicie costera del Pacífico, hicieron uso de arquitectura de tierra y materiales perecederos, lo que pone de manifiesto que las primeras sociedades no conocían o no adoptaron la tecnología de la cal para sus construcciones. Sin embargo, en el caso de La Victoria, un pequeño poblado en la Planicie Costera de Guatemala, la cal se usó de manera incipiente durante la Fase Conchas del Preclásico Medio Temprano (900–600 aC.), ya que los muros de las estructuras estaban recubiertos con lechadas de cal [Coe, 1961, citado en Flannery, 1976:23]. Debido a que la región no tiene afloramientos de roca caliza [*ibid.*], es probable que la cal de estas construcciones se hubiera obtenido de conchas de moluscos, ya que existen rellenos de conchas que subyacen a muchas de las estructuras de este sitio.

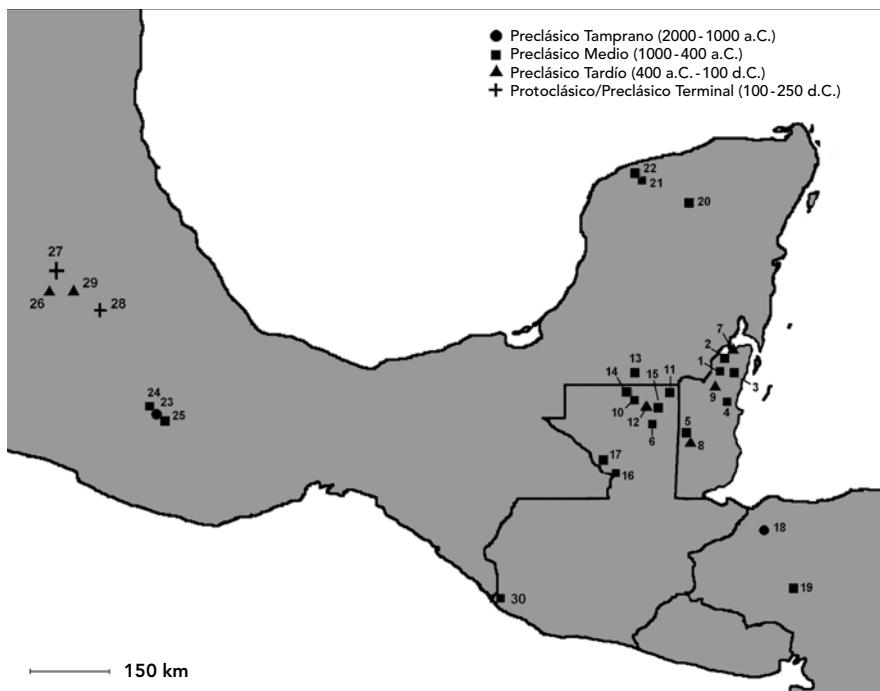
A lo largo del Preclásico Medio se comienzan a observar numerosos ejemplos del uso de la cal en las tierras bajas mayas, lo que coincide con otras evidencias del desarrollo de la complejidad sociocultural, como el comercio entre sitios, la construcción de obras públicas, el crecimiento poblacional y el inicio de la especialización artesanal [Sharer, 2006:179].

Uno de los reportes más tempranos que se tiene del uso de la cal en las tierras bajas mayas proviene del pequeño sitio de Cuello, en Belice (v. fig. 2). En este sitio, las plataformas estucadas de las estructuras 325, 326 y 327 han sido fechadas para las fases Swasey y Bladen, entre 1000 y 600 aC, con base en su asociación con la cerámica más temprana del sitio y con material orgánico analizado por radiocarbono [Gerhardt, 1988:140; Hammond y Gerhardt, 1990; Andrews y Hammond, 1990:571].

La zona norte de Belice presenta varios ejemplos de arquitectura con cal que datan del Preclásico Medio. En el sitio de K'axob, McAnany y López Varela [1999:156] reportan un piso de cal en la estructura 1i, del Preclásico Medio Temprano, mientras que en el sitio de Colha, también en el norte de Belice, se han reportado plataformas estucadas de la arquitectura del Preclásico Medio Tardío, que, al igual que aquéllas de Cuello, son plataformas de planta absidal. En el caso de Altun Ha, en la parte oriental de Belice, el piso más temprano de cal, de la secuencia C-13, data del Preclásico Medio Temprano [Pendergast, 1979:171-172], mientras que la estructura circular B4/7th de Cahal Pech, que se desplanta sobre plataformas con gruesos pisos de cal, data del Preclásico Medio Tardío [Aimers *et al.*, 2000:74]. Los sitios de Cerros y Pacbitún también tienen juegos de pelota con argamasas de cal fechados en el Preclásico Tardío [Scarborough *et al.*, 1982; Healey, 1992].

En la Cuenca del Mirador, en la parte norte central del Petén, existe una gran cantidad de arquitectura pública monumental del Preclásico Medio.

Figura 2.
Sitios con los reportes más tempranos de uso de cal en la arquitectura (numerados en orden de aparición en el texto)



- 1: Cuello, 2: K'axob, 3: Colha, 4: Altun Ha, 5: Cahal Pech, 6: Tikal, 7: Cerros, 8: Pacbitún, 9: Lamanai, 10: Nakbé, 11: Río Azul, 12: Uaxactún, 13: Calakmul, 14: El Mirador, 15: Cival, 16: Altar de Sacrificios, 17: Itzán, 18: Puerto Escondido, 19: Yarumela, 20: Yaxuná, 21: Dzibilchaltún, 22: Komchén, 23: San José Mogote, 24: Huitzo, 25: Monte Albán, 26: Tlapacoya, 27: Teotihuacan, 28: Cholula, 29: Tlalancaleca, 30: La Victoria.

Precisamente en esta área del Petén se desarrollaron las tipologías de arquitectura monumental y escultura arquitectónica que más tarde se reproducirían en el resto de las Tierras Bajas Mayas. Un ejemplo sobresaliente y ampliamente estudiado es el caso de Nakbé, en donde los elementos arquitectónicos más tempranos con empleo de cal datan del Preclásico Medio Temprano [E. Hansen *et al.*, 1995, E. Hansen *et al.* 1997], al igual que Tikal, en donde existen secuencias de pisos que corresponden a las primeras re-

modelaciones efectuadas en el conjunto de Mundo Perdido durante la fase Eb Tardía del Preclásico Medio Temprano [Laporte y Fialko, 1993:10].

Un ejemplo a destacar en la zona del Petén es el friso de estuco modelado de la Subestructura IIc-1 de Calakmul, que data probablemente de finales del Preclásico Medio Tardío. Este friso es uno de los ejemplos tempranos más monumentales de la escultura en este material, ya que tiene más de 20 m de largo, 4 m de alto y capas de estuco que llegan hasta los 12 cm de grosor [García Solís *et al.*, 2006].

Otros sitios del Petén con el uso de cal durante el Preclásico Medio son Cival [Estrada Belli, 2006] y Río Azul [Valdez, 1995:217]. Existen muchos otros ejemplos en el Petén con arquitectura temprana, aunque muchos de ellos no han sido fechados con precisión o los reportes no describen específicamente si la arquitectura temprana contiene cal.

En la zona del Petén y de Belice se dio un uso específico de la cal durante el Preclásico Tardío en forma de relieves de mascarones adosados a la arquitectura, muchos de los cuales representan al dios solar, K'inich Ajaw. Los primeros ejemplos de mascarones fueron excavados en la estructura E-Sub VII en Uaxactún. Varias décadas después se excavaron mascarones similares en la acrópolis norte de Tikal, en la estructura 5C, 6B y 29B, en la ya mencionada estructura 34 de El Mirador, en la estructura N9-56 de Lamanai [Pendergast, 1986], así como en el Grupo H de Uaxactún y en las estructuras 1 y 27 de Nakbé, Guatemala [R. Hansen, 1992: 28]. Esta tradición de escultura arquitectónica tiene sus antecedentes formales e iconográficos —aunque no tecnológicos— en Teopantecuanitlan, Guerrero, cuyas esculturas con las características cejas flamígeras de la escultura olmeca están fechadas entre 1400 y 600 aC.

Según Richard Hansen [1992], la ideología religiosa y su representación mediante esculturas arquitectónicas sirvieron para estimular el desarrollo de la complejidad sociocultural. En este mismo sentido, creemos que la cultura material está estrechamente relacionada con la ideología religiosa y la identidad colectiva representada por las obras públicas monumentales. En el caso de la escultura arquitectónica del Preclásico en el Petén, estaba constituida de materiales de cal, lo que le confería características formales y visuales particulares que promovieron la conformación de una identidad cultural y que fueron el modelo a seguir de las tipologías arquitectónicas empleadas en los grandes centros cívico-ceremoniales de las tierras bajas mayas. También creemos que la tradición del uso de la cal en la arquitectura de mampostería y piedra careada participó en la formación de una identidad cultural distintiva de las tierras bajas mayas, en contraste con tradiciones arquitectónicas anteriores a base de tierra y materiales perecederos.

En el área de Petexbatún también existen ejemplos de ocupación temprana con arquitectura de mampostería. En Altar de Sacrificios se han reportado también plataformas pequeñas del Preclásico Medio Temprano con pisos de cal en donde se observan huellas de poste y bahareque [Willey, 1990:193], mientras que en Itzán, en el río de la Pasión, se han reportado hasta cuatro capas sucesivas de pisos de estuco que datan también del Preclásico Medio [Johnston, 2006:181].

Además de las zonas ya mencionadas, se encuentra el caso de la zona central y occidental de Honduras. En el sitio de Puerto Escondido, en el valle del río Ulúa, se construyeron las primeras plataformas cubiertas con pisos de cal alrededor de 1100-900 aC, lo cual se dio tras siglos de construcción con arquitectura de tierra [Joyce, 2004:19]. En el sitio de Yarumela, en la zona central de Honduras, también se han excavado plataformas de arquitectura pública del Preclásico Medio con pisos de cal [Dixon *et al.*, 1994:70]. Estos reportes tan tempranos resultan muy relevantes, pero, al ser casos aislados, no podemos hablar de una adopción generalizada del uso de la cal en esta zona durante el Preclásico, a diferencia del Petén y de Belice.

En las Tierras Bajas septentrionales hay menos sitios con ocupación temprana. El sitio de Yaxuná tiene arquitectura pública del Preclásico Medio y Tardío con pisos de cal que se encuentran por debajo de depósitos de material cerámico del Preclásico Medio [Stanton y Ardren, 2005]. Asimismo, en el caso de Dzibilchaltún, Andrews y Brown [1980:286] reportan que la estructura 605, construida durante la Fase Nabanche I, del Preclásico Medio, tiene muros de tierra aplanados con cal, mientras que en el sitio de Komchén, muy cerca de Dzibilchaltún, Andrews y Ringle [1992:8] también indican que la arquitectura pública y residencial de élite del Preclásico Medio Tardío en ocasiones está recubierta con aplanados de cal.

El uso de la cal y las tecnologías constructivas han despertado especial interés en los investigadores, por lo que existen muchos estudios de caracterización de estucos arqueológicos de esta área cultural [v. Littman 1957, 1958, 1959a, 1959b, 1960a, 1960b, 1962, 1967, 1979; Magaloni *et al.*, 1995].

Cabe también mencionar que, independientemente del origen tecnológico de la cal en Mesoamérica, fueron los mayas de las tierras bajas quienes, sin lugar a dudas, utilizaron de manera generalizada y con mayor profusión la cal en la arquitectura, y quienes lograron una excelencia en el manejo y técnicas de manufactura de los estucos y acabados arquitectónicos, lo cual, como hemos propuesto, se debe a la abundancia de los recursos calcáreos y a la evolución y reproducción de técnicas desde tiempos muy tempranos. Los materiales de cal seguramente contribuyeron a la adopción generalizada del arco y la bóveda maya, y en general de la arquitectura de mam-

postería, ya que las juntas con cal proveen a este tipo de arquitectura de una mayor estabilidad estructural. De no haber existido el uso de la cal, las tipologías arquitectónicas quizás se habrían desarrollado hacia un énfasis en el tallado de piedras y el uso de la junta seca, como ocurrió en Sudamérica.

Una dificultad para rastrear los ejemplos tempranos del uso de la cal es que los reportes arqueológicos no describen a los materiales constructivos con detalle, por lo que a menudo no es posible saber si los pisos o aplanados que se mencionan son de cal o de otros materiales. En el caso de la zona maya, como se describe más adelante, los pisos de sedimentos calcáreos compactados pueden confundirse fácilmente con pisos de cal, lo que dificulta la identificación y el reporte de los pisos más tempranos, lo cual es relevante porque la tecnología y la fuerza laboral requerida para la construcción de pisos de sedimentos compactados es muy diferente a aquellas requeridas para los recubrimientos a base de cal.

En este sentido, es importante mencionar que la existencia de pisos de sascab no necesariamente implica que se desconocía la tecnología de la cal. En el caso de Lamanai, en Belice, por ejemplo, la cal fue usada ininterrumpidamente desde el Preclásico Tardío, pero se emplearon también pisos de sascab compactado durante el Clásico Temprano y el Clásico Tardío [Villaseñor, 2010:150-151]. Asimismo, se han reportado pisos de sascab compactado en plataformas de Nakbé y el Mirador en períodos donde ya se utilizaba la cal [Hansen, 1998:56], lo que demuestra que el sascab compactado se usó de manera paralela a la cal y, por lo tanto, no hubo una suplantación tecnológica.

Oaxaca

Fuera del área maya, en el valle de Oaxaca, los materiales de cal se usaron de manera muy temprana, lo que sugiere una invención tecnológica independiente de la zona maya. Flannery y Marcus [1990] afirman que durante la Fase de las Tierras Largas (1400-1150 aC), existe mucha arquitectura doméstica de sociedades igualitarias construida con bahareque, recubierta en su exterior con lechadas de cal [Flannery y Marcus, 1990]. En el caso de San José Mogote, los edificios públicos, como son las estructura 5 y 6, tienen aplanados y pisos de cal en donde se observan huellas de postes [Flannery, 1976; Flannery y Marcus, 1990; Marcus, 1989:163]. En estas estructuras se reportan hoyos en el piso con restos de cal en polvo, que los autores creen que pudo haberse mezclado con tabaco. Sin embargo, llama la atención el estado de “polvo” de la cal descrita, ya que, después de tantos siglos, lo normal sería encontrar una capa dura recarbonatada de cal.

Como menciona Marcus [*ibid.*], la Fase de las Tierras Largas muestra una tradición constructiva diferente a la olmeca. Mientras que la tradición olmeca consiste en la construcción de montículos de tierra, la arquitectura de la Fase de las Tierras Largas parece representar los orígenes de la arquitectura de las tierras altas de Oaxaca que posteriormente se retoma en Monte Albán desde el periodo Monte Albán I. Se piensa que los orígenes de esta tradición no tienen precedentes, ya que la estructura 5 de José Mogote fue datada hacia 1320 aC [Marcus, *ibid.*]; que constituye la fecha más temprana del uso de la cal en la arquitectura de Mesoamérica, por lo cual esta zona de Oaxaca es un foco probable de la invención temprana de la cal y la arquitectura de mampostería. Cabe mencionar que el desarrollo tecnológico de la producción de cal en Oaxaca se dio a la par que la invención del sistema calendárico, lo cual parece ser independiente de la cultura olmeca [Flannery y Marcus, 1990:23], por lo que, al igual que en la zona maya, los inicios de la producción y uso de la cal corresponden con el desarrollo de la complejidad sociocultural.

También está el caso de Huitzo, en Etla, Oaxaca, en donde la estructura 3 fue construida con adobe y bahareque pero cubierta en todas sus superficies con cal. Esta estructura está fechada en la fase Guadalupe, alrededor del 850-700 aC [Marcus, 1989:194].

Aunque la arquitectura temprana de Monte Albán es poco conocida debido a la destrucción o a la superposición de estructuras más tardías, existe el reporte de una escultura modelada en estuco con motivos de serpiente, fechada para el periodo Monte Albán I Temprano (500-300 aC), en la parte norte de la plaza principal [Acosta, 1965:816, cit. en Blanton *et al.*, 1999:61]. Durante este periodo se dio un crecimiento importante en Monte Albán, lo que ocurrió probablemente por la migración de gente de los poblados del valle de Oaxaca, tales como San José Mogote [Blanton *et al.*, 1999:53], en donde llevaban siglos de trabajo con la cal y desde donde se pudo haber importado este conocimiento tecnológico.

Para periodos posteriores, la cal se siguió usando en los sitios del valle de Oaxaca, tales como Yagul, Lambityeco, Mitla y Dainzú, en donde se utilizó como mortero de rejunteo y en los pisos, aplanados de muros y escultura arquitectónica [González Licón, 1998].

El Altiplano Central

La tradición olmeca de arquitectura de tierra fue de gran influencia para las sociedades tempranas del Altiplano Central, tales como Cuicuilco y Coapexco, en el actual Distrito Federal y el Estado de México, respectivamente,

que no utilizaron la cal en la arquitectura [Tolstoy, 1989:90]. Sin embargo, Chalcatzingo, un sitio con fuertes componentes olmecas, tiene evidencias tempranas de producción de cal, aunque su uso en la arquitectura temprana no ha sido demostrado.

En el caso de Tlapacoya, en el Estado de México, Barba de Piña Chan [1980:36] menciona que en el piso de la última etapa, durante el Preclásico Tardío, aparece ya un estuco incipiente formado por arena, lodo y cal. Ésta es una referencia importante, puesto que demostraría el uso temprano de la cal en el Altiplano Central, aunque valdría la pena confirmar que, efectivamente, se trata de cal y no de arenas o arcillas calcáreas compactadas.

Se sabe también que la región de Puebla-Tlaxcala trabajaba la cal desde aproximadamente el 400 aC, como en el caso de Tlalancalenga, Puebla [García Cook, 1981, citado en Murakami, 2007].

El caso de Teotihuacan, aunque mucho más tardío en comparación con los casos antes mencionados, es interesante, puesto que comienza sus construcciones monumentales con el uso de arquitectura de tierra, pero posteriormente empieza a utilizar la cal para recubrir sus conjuntos departamentales, a pesar de que los yacimientos de calizas más cercanos, necesarios para la producción de cal, se encontraban a 60 km de distancia. Tanto la distancia de extracción de la materia prima como la cantidad en que ésta fue usada, nos hablan del gran trabajo humano destinado para estos fines [Barba y Córdova Frunz, 1999; Barba *et al.*, 2009].

La Pirámide de la Luna es un caso único en Teotihuacan, ya que se pueden observar los cambios en las técnicas constructivas en las siete etapas que la conforman. Las primeras etapas constructivas de esta estructura constan de rellenos con morteros y aplazados de lodo, pero la etapa 5, fechada hacia el 300 dC, ya está recubierta de cal [Sugiyama, 2004]. También se han encontrado fragmentos de estuco en el relleno de la etapa 5, lo que sugiere que la cal pudo haber sido usada incluso en la etapa 4, cuyas fachadas fueron destruidas, y que data de la fase Miccaotli (150-250 dC) [Murakami, 2007:7].

Tal y como menciona Murakami (2010), con base en la similitud entre la arquitectura teotihuacana y aquélla de la región de Puebla-Tlaxcala —especialmente el uso del talud y tablero—, se cree que la tecnología de la cal pudo haber sido aprendida de dicha región, lo que pudo haber ocurrido antes de los contactos de los mayas o de Monte Albán con Teotihuacan. A pesar de la influencia probable de la zona de Puebla-Tlaxcala para los inicios del uso de la cal en Teotihuacan, es también probable que la llegada de personas y el intercambio con Monte Albán y el área maya resultara en una influencia tecnológica en el manejo de la cal y en una

implementación generalizada de esta tecnología [Barba y Córdova, 2010:86]. Un ejemplo del contacto entre Teotihuacan y la zona maya, entre muchos otros, son los personajes ricamente ataviados que se han encontrado en la Pirámide de la Luna, y que han sido interpretados como individuos de la élite maya o personajes relacionados con dicha élite [Sugiyama y Cabrera, 2007:115].

LAS REGIONES SIN EL USO DE CAL

La región del Golfo es de las más tardías en la adopción de la tecnología de la cal, ya que conservó la tradición olmeca de construcción con tierra. El sitio de La Joya, por ejemplo, no empleó en ningún momento la cal, incluso durante el Clásico Tardío, y los sitios de la región incorporaron la cal en la arquitectura sólo hasta el periodo Postclásico [Annick Daneels, comunicación personal, junio de 2010].

De igual forma, el norte de México y el suroeste de Estados Unidos siguieron también con el uso de arquitectura de tierra e incluso actualmente continúa una fuerte tradición de este tipo de arquitectura, que provee las condiciones térmicas ideales para las zonas desérticas.

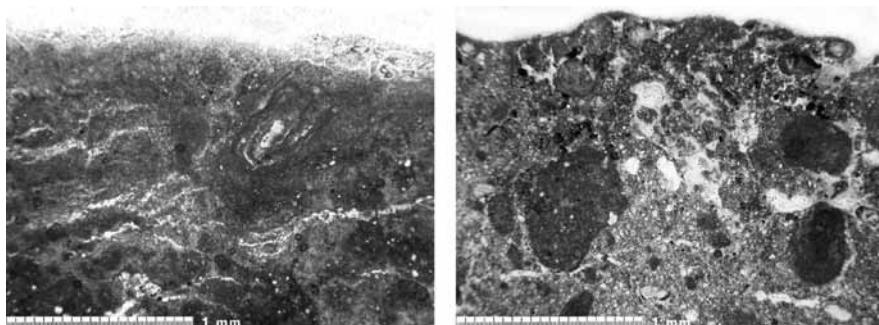
El occidente de México ha sido muy poco estudiado en comparación con otras regiones, por lo que se requiere de mayores investigaciones para poder hacer un rastreo de los usos más tempranos de la cal en esta zona.

LOS PROBLEMAS DE IDENTIFICACIÓN Y DATACIÓN DE LOS MATERIALES DE CAL

Como ya se mencionó, en muchas ocasiones es difícil distinguir entre un material de cal y una capa compactada de sedimentos calcáreos no calcinados, como es el uso del sascab en la zona maya. Es por esto que se requiere de un análisis de caracterización de estos materiales para poder definir si los carbonatos son geológicos (primarios) o antrópicos. La detección de fases de carbonatación incompleta, tales como el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), por medio de difracción de rayos X, así como la observación de hábitos cristalinos específicos mediante el microscopio electrónico de barrido, puede diferenciar los carbonatos geológicos de aquéllos antrópicos [Mazzullo *et al.*, 1994]. También se ha demostrado que la espectroscopía infrarroja puede hacer una distinción entre los dos tipos de carbonatos [Vikki Chu *et al.*, 2008]. Finalmente, la observación de láminas delgadas bajo el

microscopio petrográfico pone de manifiesto las diferencias entre los sedimentos calcáreos compactados y los materiales de cal quemada, ya que los primeros se observan como una masa uniforme de calcita micrítica, sin agregados visibles y frecuentemente con fisuras que corren a lo largo de la superficie del piso, mientras que en los segundos se observan claramente los agregados, aun cuando éstos sean de naturaleza calcárea (v. fig. 3).

Figura 3.
Piso de sascab y piso de cal



Izquierda: piso de sascab compactado, estructura P9-25 de Lamanai. Derecha: piso de cal con agregados de sascab, estructura N10-43 de Lamanai. Microscopía óptica de luz polarizada paralela. Escala: 1 mm.

Acerca de los problemas de datación, generalmente los estucos arquitectónicos representan la evidencia más temprana del uso de la cal, ya que las evidencias de las zonas arqueológicas de producción son muy escasas. Sin embargo, la mayoría de las veces la arquitectura se fecha de manera relativa por medio de tipologías arquitectónicas o mediante su asociación con tipologías cerámicas, lo que con frecuencia resulta preliminar o con amplios márgenes de error.

En muchas áreas de Mesoamérica, los asentamientos más tempranos se encuentran cubiertos de ocupaciones más tardías, así como también los problemas de conservación son más marcados para los sitios más tempranos. Más aún, muchas de las zonas tempranas, como la zona norte de las Tierras Bajas Mayas, tienen muy pocas dataciones directas [Stanton y Arden, 2005:214].

La datación directa de estucos, por otra parte, involucra varias dificultades. Aunque hay estudios que proponen el uso de radiocarbono [Murakami *et al.*, 2006; Mathews, 2001], hay muchos problemas que dificultan este análisis y las técnicas se encuentran todavía en la fase experimental. El principio de datación de estucos por radiocarbono consiste en que en el momento de la calcinación la piedra caliza pierde dióxido de carbono, CO₂, quedando solamente el óxido de calcio, CaO. Posteriormente, y después de haber sido apagada con agua, la cal incorpora CO₂ ambiental, el cual aporta el carbono a fechar; es decir, el fraguado representa el tiempo cero de la datación.

Sin embargo, existen varios problemas para la datación de estucos por radiocarbono [v. Van *et al.*, 1986], especialmente la calcinación incompleta de los materiales calcáreos y la presencia de materiales agregados no calcinados, ya que ambos contienen carbono geológico e introducen, por lo tanto, amplios márgenes de error. En este sentido, los análisis de isótopos estables de carbono y oxígeno han sido utilizados para discriminar los distintos orígenes de la calcita y poder así refinar la datación [Kosednar-Legenstein *et al.*, 2008].

Además de la técnica de radiocarbono, el arqueomagnetismo se ha empleado de manera reciente para la datación directa de estucos, lo cual se basa en la idea de Barba de que las partículas magnéticas, tales como las titanomagnetitas, se alinean al norte magnético durante el fraguado de la cal, con lo cual ha sido posible datar aquellos aplanados que contienen, por ejemplo, agregados derivados de rocas ígneas, como es el caso de Teotihuacan [Hueda-Tanabe *et al.*, 2004; Soler Arrechalde *et al.*, 2006]. En futuro, quizás esta técnica pueda fechar las evidencias más tempranas del uso y la producción de cal.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A FUTURO

La tecnología de la cal reviste una importancia fundamental debido a su relevancia en la dieta y en las prácticas arquitectónicas públicas y domésticas. Desde un punto de vista tecnológico resulta notable porque refleja los conocimientos pirotecnológicos con los que se contaba, así como la inversión de los recursos forestales y laborales que esta tecnología demanda. En contraste con la tecnología cerámica, el reporte de materiales de cal como parte de la arquitectura de un sitio refleja la adopción de esta práctica tecnológica por parte de la sociedad local. Sin embargo, debido precisamente a que se utilizan materiales locales para su elaboración, el estudio de las

influencias tecnológicas resulta complejo y debe hacerse en combinación con otras fuentes de investigación arqueológica.

Existen muchos problemas para poder rastrear el origen tecnológico de la cal y la manera en que se implementó en las distintas regiones de México y Centroamérica. Un problema importante es el gran desinterés que existe hacia los materiales constructivos, lo que hace que los reportes y publicaciones arqueológicas sean ambiguos u omitan la mención y descripción de estos materiales. Por otra parte, los estudios de datación son con frecuencia problemáticos. En el caso del radiocarbono, existen muchas dificultades que introducen factores de error considerables, especialmente cuando los agregados son de naturaleza calcárea. El método de arqueomagnetismo parece más promisorio, aunque de aplicación limitada en estucos con pocas partículas magnéticas, como aquellos de la zona maya. El mapa del uso de la cal se podrá redibujar con mayor precisión en un futuro conforme los reportes y publicaciones sean más específicos y se realicen más estudios de caracterización y datación de estos materiales.

Debido a los escasos reportes de zonas de producción de cal, la presencia de la cal en la arquitectura representa la evidencia más confiable para la documentación del origen del uso de la cal. Los ejemplos más tempranos del uso de la cal, como el caso de San José Mogote y Huitzo, en Oaxaca, así como de Cuello, en Belice, provienen de sencillos ejemplos de arquitectura doméstica en forma de pisos o en delgadas capas de lechadas de cal que recubren los muros de bahareque. Es probable, por lo tanto, que la cal se hubiera inventado en sociedades igualitarias y que mucha de la evidencia arqueológica sea más difícil de recuperar que los ejemplos más tardíos de arquitectura pública monumental de mampostería de las sociedades culturalmente más complejas.

Con base en la revisión bibliográfica realizada, la zona de las tierras bajas mayas, Oaxaca y la región de Puebla-Tlaxcala, todas ellas con afloramientos de roca caliza, constituyen los tres focos más tempranos e importantes donde se ha reportado el uso de la cal en la arquitectura. Es probable que las tierras bajas mayas y Oaxaca constituyan dos zonas independientes de invención de cal, debido a lo temprano de las fechas y a que la cal proviene de arquitectura doméstica de sociedades igualitarias, con poco contacto e intercambio tecnológico a grandes distancias. En el caso de la región de Puebla-Tlaxcala, aunque es posible una invención independiente de la cal, es también probable que la adopción tecnológica en esta región se diera como resultado del contacto con otras zonas, especialmente con el valle de Oaxaca, aunque se requiere de mayores investigaciones en este sentido. Además de estos focos de invención, es probable que la cal se hubiera in-

ventado en muchas otras zonas, pero el registro arqueológico es escaso. Un ejemplo es el caso de La Victoria, en la planicie costera de Chiapas, donde existen lechadas de cal en las construcciones de bahareque.

Las tierras bajas mayas, especialmente el norte del Petén y el norte de Belice, destacan por la gran cantidad de ejemplos con arquitectura del Preclásico Medio con recubrimientos de cal, lo que demuestra una adopción generalizada muy temprana del uso de este material. La adopción de la cal y de la arquitectura de mampostería, así como de las tipologías de escultura arquitectónica, nos hablan de la conformación de una identidad cultural común en las tierras bajas mayas durante el periodo Preclásico, en donde los materiales de cal desempeñaron un papel fundamental. Sin embargo, el mapa del uso de la cal seguramente está influenciado por la gran cantidad de excavaciones y publicaciones que se han llevado a cabo de manera reciente en Guatemala y Belice, lo que no ha sucedido en la misma proporción en México, por lo que futuras investigaciones podrán traer a la luz más ejemplos tempranos de diversas áreas de México.

Teotihuacan adopta el uso de la cal hacia 150–200 dC, probablemente de la región de Puebla-Tlaxcala, aunque seguramente también con influencias de Monte Albán y de las tierras bajas mayas. Por otro lado, la zona norte de México y el suroeste de Estados Unidos mantienen la tradición de arquitectura de tierra, tradición que sobrevive hasta nuestros días.

Agradecimientos. Agradecemos a los doctores Travis Stanton, Bruce Bachand, Saburo Sugiyama, Tatsuya Murakami y David Pendergast; a las doctoras Annik Daneels y, Elizabeth Graham, por los comentarios e información acerca del uso de cal en los distintos sitios excavados e investigados por ellos. Este estudio fue posible gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el financiamiento de la estancia posdoctoral del primer autor, la cual se llevó a cabo en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

Abrams, Elliot M. y David Rue

- 1988 "The causes and consequences of deforestation among the prehistoric Maya", en *Human Ecology*, 16: 377-395.

Abrams, Elliot M. y Ann C. Freter

- 1996 "A late Classic lime-plaster kiln from the Maya centre of Copan, Honduras", en *Antiquity*, 70: 422-428.

- Adams, Richard N.**
 1975 *Energy and Structure. A Theory of Social Power*, Austin, University of Texas Press.
- Aimers, James J., Terry G. Powis y Jaime J. Awe**
 2000 "Preclassic Round Structures of the Upper Belize River Valley", en *Latin American Antiquity*, 11(1): 71-86.
- Andrews, E. Willys y Hammond, N.**
 1990 "Redefinition of the Swasey Phase at Cuello, Belize", en *American Antiquity*, 55(3): 570-584.
- Andrews, E. Willys y William M. Ringle**
 1992 "Los mayas tempranos en Yucatán: investigaciones arqueológicas en Komchen", en *Mayab*, 8: 5-17.
- Andrews, E. W. y J.S.H. Brown**
 1980 *Excavations at Dzibilchaltun, Yucatan, Mexico*, New Orleans, Tulane University Middle, American Research Institute.
- Arana, Raúl Martín**
 1987 "Classic and Postclassic Chalcatzingo", en D. C. Grove (ed.), *Ancient Chalcatzingo*, Austin, University of Texas Press, pp. 387-399.
- Balkansky, Andrew K., G. M. Feinman y L. M. Nicholas**
 1997 "Pottery Kilns of Ancient Ejutla, Oaxaca, Mexico", en *Journal of Field Archaeology*, 24(2): 139-160.
- Barba de Piña Chan, Beatriz**
 1980 *Tlapacoya. Los principios de la teocracia en la Cuenca de México*, Biblioteca Enciclopedia del Estado de México.
- Barba, L., J. Blancas, L. R. Manzanilla, A. Ortiz, D. Barca, G. M. Crisci, D. Miriello y A. Pecci**
 2009 "Provenance of the limestone used in Teotihuacan (Mexico): A methodological approach", en *Archaeometry*, 51 (4): 525-545.
- Barba, Luis y José Luis Córdova Frunz**
 1999 "Estudios energéticos de la producción de cal en tiempos teotihuacanos y sus implicaciones", en *Latin American Antiquity*, 10(2): 168-179.
- 2010 *Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan*, México, UNAM-IIA.
- Blanton, Richard E., G. M. Feinman, S. A. Kowalewski y L. M. Nicholas**
 1999 *Ancient Oaxaca*, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Bryant, D. D., E. E. Calnek, T. A. Lee y B. Hayden**
 1988 "Archaeology, Ethnohistory, and Ethnoarchaeology in the Maya Highlands of Chiapas, Mexico", en *Papers of the New World Archaeological Foundation New World Archaeological Foundation*, Provo, Utah, Brigham Young University, pp. 54-56.
- Castanzo, Ronald A.**
 2004 *Tepeaca Kiln Project*. Reporte presentado a FAMSI. Disponible en <<http://www.famsi.org/reports/02021/index.html>> [consultado abril 2010].
- Ciudad Ruiz, Andrés y Marilyn Beaudry-Corbett**
 2002 "Hornos de cerámica en Centroamérica: descubrimiento y contexto", en J.P. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo (eds.), *XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2001*, Guatemala Museo Nacional de Arqueología y Etnología, pp. 560-577.

- Coe, Sophie D.**
- 1994 *America's first cuisines*, Austin, University of Texas Press.
- Dixon, Boyd, L. R. V. Joesink-Mandeville, Nobukatsu Hasebe, Michael Mucio, William Vincent, David James y Kenneth Petersen**
- 1994 "Formative-Period Architecture at the Site of Yarumela, Central Honduras", en *Latin American Antiquity*, 5(1): 70-87.
- Estrada Belli, Francisco**
- 2006 "Lighting sky, rain and the maize god: The ideology of Preclassic Maya rulers at Cival, Petén, Guatemala", en *Ancient Mesoamerica*, 17: 57-78.
- Flannery, Kent V.**
- 1976 *The Early Mesoamerican Village*, London, Academic Press.
- Flannery, Kent V. y J. Marcus**
- 1990 "Borrón y cuenta nueva: Setting Oaxaca's Archaeological Record Straight", en J. Marcus (ed.), *Debating Oaxaca Archaeology*, Ann Arbor, Michigan, University of Michigan, Museum of Anthropology, pp. 17-69.
- García-Solís, C. A., P. Quintana y F. Bautista-Zúñiga**
- 2006 "La identificación de materiales arcillosos y pétreos utilizados en la manufactura del friso modelado en estuco de la SubIIC1 de Calakmul a través de análisis de difracción de rayos X", en M. Mendoza, J. Arenas, J. Ruvalcaba y V. Rodríguez (ed.), *La ciencia de materiales y su impacto en la arqueología*, México, D.F., pp. 237-251.
- Gerhardt, Juliette C.**
- 1988 *Preclassic Maya Architecture at Cuello, Belize*, Oxford, International Series. British Archaeological Reports, vol. 464.
- González Licón, Ernesto**
- 1998 "Royal palaces and painted tombs: State and society in the valley of Oaxaca", en Susan Toby Evans y Joanne Pillsbury (eds.), *Palaces of the Ancient New World, A Symposium at Dumbarton Oaks*, 10th and 11th of October 1998, Washington D.C., Dumbarton Oaks, Research Library and Collection, pp. 83-112.
- Goren, Y. y A. N. Goring-Morris**
- 2008 "Early pyrotechnology in the Near East: experimental lime-plaster production at the Pre-Pottery Neolithic B site of Kfar HaHoresh, Israel", en *Geoarchaeology*, 23(6): 779-798.
- Grove, David C.**
- 1987 "Raw Materials and Sources", en D. C. Grove (ed.), *Ancient Chalcatzingo*, University of Texas Press, Austin, pp. 376-386.
- Hammond, N. y J.C. Gerhardt**
- 1990 "Early Maya Architectural Innovation at Cuello, Belize", en *World Archaeology*, 21(3): 461-481.
- Hansen, Eric F.**
- 2000 *Ancient Maya Burnt-Lime Technology: Cultural Implications of Technological Styles*, Los Angeles, University of California, Department of Anthropology.
- Hansen, E., R. D. Hansen y M. R. Derrick**
- 1995 "Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbé: resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de produc-

- ción", en *VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 1994*, Guatemala.
- Hansen, E., C. Rodríguez-Navarro y R. D. Hansen**
- 1997 "Incipient Maya burnt lime technology: characterization and chronological variations in Preclassic plaster, stucco and mortar at Nakbe, Guatemala", en *Materials Research Society symposium proceedings*, volume V, Boston, Massachusetts, pp. 207-216.
- Hansen, Richard D.**
- 1992 *The Archeology of Ideology: A Study of Maya Preclassic Architectural Sculpture at Nakbe, Petén, Guatemala*, tesis doctoral, Los Angeles, Universidad de California.
- 1998 "Continuity and Disjunction: The Pre-Classic Antecedents of Classic Maya Architecture", en Stephen E. Houston (ed.), *Function and Meaning in Classic Maya Architecture*, Washington D.C., Dumbarton Oaks Research Library and Collection.
- Healy, Paul F.**
- 1992 "The ancient Maya ballcourt at Pacbitun, Belize", en *Ancient Mesoamerica*, 3: 229-239.
- Hueda-Tanabe, Y., M.A. Soler-Arechalde, J. Urrutia-Fucugauchi, L. A. Barba, L. Manzanilla, M. Rebollo-Viewra y A. Goguitchaichvili**
- 2004 "Archaeomagnetic studies in central Mexico-dating of Mesoamerican lime-plasters", en *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, 147(2-3): 269-283.
- Johnston, Kevin J.**
- 2006 "Preclassic Maya occupation of the Itzán escarpment, lower Río de la Pasión, Petén, Guatemala", en *Ancient Mesoamerica*, 17: 177-201.
- Joyce, Rosemary A.**
- 2004 "Unintended Consequences? Monumentality as a Novel Experience in Formative Mesoamerica", en *Journal of Archaeological Method and Theory, Recent Advances in the Archaeology of Place*, 11(1): 5-29.
- Katz, S. H., M. L. Hediger y L. A. Valleroy**
- 1974 "Traditional Maize Processing Techniques in the New World", en *Science*, 184(4138): 765-773.
- Kosednar-Legenstein, B., M. Dietzel, A. Leis y K. Stingl**
- 2008 "Stable carbon and oxygen isotope investigation in historical lime mortar and plaster - Results from field and experimental study", en *Applied Geochemistry*, 23: 2425-2437.
- Laporte, Juan Pedro y V. Fialko**
- 1993 "El Preclásico de mundo perdido: algunos aportes sobre los orígenes de Tikal", en *Tikal y Uaxactún en el Preclásico*, México, UNAM, pp. 9-38.
- Littman, Edwin R.**
- 1957 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. Comalcalco, Part I", en *American Antiquity*, 23(2): 135-139.
- 1958 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. Comalcalco part II", en *American Antiquity*, 23(3): 292-296.
- 1959a "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. Las Flores, Tampico", en *American Antiquity*, 25(1): 117-119.

- 1959b "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. Palenque, Chiapas", *American Antiquity*, 25(2): 264-266.
- 1960a "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. The Puuc Area", *American Antiquity*, 25(3): 407-412.
- 1960b "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos. The Use of Bark Extracts", *American Antiquity*, 25(4): 593-597.
- 1962 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Floor Constructions at Uaxactun", en *American Antiquity*, 28(1): 100-103.
- 1967 "Patterns in Maya Floor Construction", en *American Antiquity*, 32(4): 523-533.
- 1979 "Preliminary Report on Plaster Floors at Cuello", en *Cuello Project 1978 Interim Report*, New Brunswick, Rutgers University, Archaeological Research Program. Douglass College, pp. 79-87.
- Mackinnon, J. J. y E. M. May**
- 1990 "Small scale Maya lime making in Belize, ancient and modern", en *Ancient Mesoamerica*, 1: 197-203.
- Marcus, Joyce**
- 1989 "Zapotec chiefdoms and the nature of Formative religions", en Robert J. Sharer y David C. Grove (eds.), *Regional Perspectives on the Olmec*, Cambridge University Press, School of American Research Advanced Seminar Series, pp. 148-197.
- McAnany, Patricia A. y L. López Varela**
- 1999 "Re-creating the Formative Maya village of K'axob: chronology, ceramic complexes and ancestors in architectural context", en *Ancient Mesoamerica*, (10): 147-168.
- Matheny, R. T.**
- 1982 "Ancient Lowland and Highland Maya Water and Soil Conservation Strategies", en K. V. Flannery (ed.), *Maya subsistence. Studies in memory of Dennis E. Puleston*, Nueva York, Londres, Academic Press, Studies in Archaeology.
- Mathews, Jennifer P.**
- 2001 "Radiocarbon dating of architectural mortar: A case study in the Maya region, Quintana Roo, Mexico", en *Journal of Field Archaeology*, 28(3-4): 395-400.
- Mazzullo, S. J., C. S. Teal y E. Graham**
- 1994 "Mineralogic and Crystallographic evidence of lime processing, Santa Cruz Maya site (Classic to Postclassic), Ambergris Caye, Belize", en *Journal of Archaeological Science*, 21: 785-795.
- Morris, E. H., J. Charlot y A. A. Morris**
- 1931 *The Temple of the Warriors at Chichen Itzá, Yucatán*, Washington D.C., Carnegie Institute of Washington.
- Murakami, T., G. W. L. Hodgins, A. J. Vonarx y A. Simon**
- 2006 "Radiocarbon dating Mesoamerican plasters: studies from Teotihuacan", ponencia presentada en *International Symposium of Archaeometry*, May 2nd- 6th, Quebec City, Canada.

Murakami, T.

- 2007 "Inter-Valley Relations in the Formative to Classic Transition: A Preliminary Analysis of Architectural Technology at Teotihuacan", ponencia presentada en 72nd Annual Meeting of the Society for American Archaeology, Austin, Texas.
- 2010 *Power Relations and Urban Landscape Formation: a Study of Construction Labor and Resources at Teotihuacan*, Tesis doctoral, Arizona State University.

Nalda, Enrique

- 1997 "El noreste de Morelos y la desestabilización teotihuacana", en *Arqueología*, 18: 103-117.

Pendergast, David M.

- 1979 *Excavations at Altun Ha, Belize, 1964-1970*, vol. 2, con dibujos de Stanley Loten, Toronto, Royal Ontario Museum.
- 1981 "Lamanai, Belize: Summary of Excavation Results: 1974-1980", en *Journal of Field Archaeology*, 8 (1): 29-53.
- 1985 "Stability Through Change: Lamanai, Belize, From the Ninth To The Seventeenth Century", en J. A. Sabloff y E. W. Andrews (eds.), *Late Lowland Maya Civilization, Classic to Postclassic*, Albuquerque, University of New Mexico Press, School of American Research Book.

Pfaffenberger, Bryan

- 1988 "Fetichised Objects and Human Nature: Towards an Anthropology of Technology", en *Man*, 23(2): 236-252.
- 1992 "Social Anthropology of Technology", en *Annual Review of Anthropology*, 21: 491-516.

Rice, Prudencia M.

- 1999 "On the Origins of Pottery", en *Journal of Archaeological Method and Theory*, 6(1):1-54.

Ruiz de Alarcón, H.

- 1984 (1629) *Treatise on the Heathen Superstitions that Today Live Among the Indians Native to this New Spain*, 1629, J. Richard Andrews y Ross Hassig (trads. y eds.), Oklahoma, University of Oklahoma Press, The Civilization of the American Indian Series.

Russell, B. y B. H. Dahlin

- 2007 "Traditional Burnt-Lime Production at Mayapán", en *Journal of Field Archaeology*, 32: 407-423.

Scarborough, V., B. Mitchum, S. Carr y D. Freidel

- 1982 "Two Late Preclassic Ballcourts at the Lowland Maya Center of Cerros, Northern Belize", en *Journal of Field Archaeology*, 9(1): 21-34.

Schofield, C. J. y G. B. White

- 1984 "Engineering against insect-borne diseases in the domestic environment", en *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, (78): 285-292.

Schreiner, Thomas

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

- 2003 "Aspectos rituales de la producción de cal en Mesoamérica: evidencias y perspectivas de las Tierras Bajas Mayas", ponencia presentada en el *Sимпозиум по археологическим исследованиям в Гватемале*, 2002, Ciudad de Guatemala, Museo Nacional de Antropología y Etnología, pp. 480-487.
- Sharer, Robert J. y L. P. Traxler**
 2006 *The Ancient Maya*, California, Stanford, Stanford University Press.
- Soler-Arechalde, M.A., F. Sánchez, M. Rodríguez, M. Caballero-Miranda, A. Gogutchaishvili, J. Urrutia-Fucugauchi, L. Manzanilla y D. Tarling**
 2006 "Archaeomagnetic investigations of some oriented pre-Columbian lime plasters from Teotihuacan, Mesoamerica", en *Earth, Planets and Space*, 58 (10): 1433-1439.
- Stanton, T. W. y T. Ardren**
 2005 "The Middle Formative of Yucatan in Context. The View from Yaxuná", en *Ancient Mesoamerica*, 16: 213-228
- Sugiyama, Saburo**
 2004 "The Moon Pyramid and the Planned city", en *Voyage to the Center of the Moon Pyramid, Recent Discoveries in Teotihuacan*, Conaculta-INAH – Arizona State University, pp. 16-20.
- Sugiyama, Saburo y Rubén Cabrera Castro**
 2007 "The moon Pyramid Project and the Teotihuacan State Polity. A Brief Summary of the 1998-2004 Excavations", en *Ancient Mesoamerica*, 18: 109-125.
- Tolstoy, Paul**
 1989 "Coapexco and Tlatilco: Sites with Olmec materials in the Basin of Mexico", en Robert J. Sharer y David C. Grove (eds.), *Regional Perspectives on the Olmecs*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 85-121.
- Tozzer, A. M.**
 1966 (c. 1941) *Landa's Relación de las Cosas de Yucatán*, New York, Kraus, Harvard University XVIII, Museum of Archaeology and Ethnology, Papers of the Peabody.
- Valdez, F.**
 1995 "Religion and Iconography of the Preclassic Maya at Rio Azul, Petén, Guatemala", en C. Varela Torrecilla, Juan L. Bonor V. y Yolanda Fernández Marquínez (eds.), *Religión y Sociedad en el Área Maya*, Madrid, Caja Madrid, Sociedad Española de Estudios Mayas, Instituto de Cooperación Iberoamericana, pp. 211-217.
- Van Strydonck, M., M. Dupas y M. Dauchot-Dehon**
 1986 "The influence of contaminating (fossil) carbonate and he variations of $\delta^{13}\text{C}$ in mortar dating", en *Radiocarbon*, 28(24): 702-710.
- Vikki Chu, Lior Regev, Steve Weiner y Elisabetta Boaretto**
 2008 "Differentiating Between Anthropogenic Calcite in Plaster, ash and natural Calcite Using Infraredspectroscopy: Implications in Archaeology", en *Journal of Archaeological Science*, 35: 905-2011.
- Villaseñor, Isabel**
 2010 *Building Materials of the Ancient Maya: A Study of Archaeological Plasters*, Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publishing.

Werneck, D. Clark

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

Willey, Gordon

- 1990 *Excavations at Seibal, Department of Petén, Guatemala. Memoirs of the Peabody.*, Cambridge, MA., Harvard University, Museum of Archaeology and Ethnology, 276 p.

Winter, Marcus

- 2001 "Palacios, Templos y 1300 años de vida urbana en Monte Albán", en A. Ciudad Ruiz, M. J. Iglesias Ponce de León, M.C. Martínez Martínez (co-ord.), *Reconstruyendo la ciudad maya: el urbanismo en las sociedades antiguas*, trabajos publicados de la Mesa Redonda de la Sociedad Española de Estudios Mayas, Valladolid, mayo 2000, pp. 277-301.