

25

FABRICACIÓN DE CAL EN MESOAMÉRICA: IMPLICACIONES PARA LOS MAYAS DEL PRECLÁSICO EN NAKBE, PETÉN

Thomas Schreiner

Nota de la edición: plática presentada en el XII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1998

La información sobre los diseños de caleras fue suministrada por informantes Mayas que hace algún tiempo practicaron el oficio de quema de cal como herederos de esta forma artesanal especializada. Se construyeron diez de estas caleras y se quemaron bajo la supervisión de los informantes. Los datos recogidos sobre los materiales utilizados, los productos resultantes, el trabajo invertido, y los efectos ambientales, sirven de base para evaluar los flujos de energía de las prácticas antiguas de construcción Maya en las que se utilizaba cal quemada.

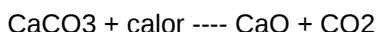
La arquitectura monumental de El Mirador, Nakbe y otros centros urbanos del Preclásico Tardío en el norte del Petén, tiene pisos y revestimientos en las paredes hechos de estuco de cal que son bastante más gruesos de lo necesario (Hansen 1995a, 1995b, 1998). El pavimento de las plazas de la Estructura 1 de Nakbe, por ejemplo, tiene 11 cm de estuco en promedio. Con el fin de comprender las implicaciones sociales y ambientales del uso excesivo de la cal, el Proyecto Regional de Investigación Arqueológica del Norte del Petén (PRIANPEG), ha iniciado un estudio del proceso de elaboración de cal en Mesoamérica. Este estudio ha hecho avances significativos por medio de una estrategia que incluye una investigación etnográfica de la tecnología prehispánica sobreviviente, su verificación arqueológica en diferentes lugares de México y Centroamérica y su réplica experimental. Las réplicas fueron hechas bajo la supervisión de informantes mayores quienes fueron quemadores de cal antes de que los métodos tradicionales fueran reemplazados por otro más eficiente introducido a América por los colonizadores Europeos. Este artículo presenta los resultados preliminares de este estudio.

El trabajo etnográfico ha permitido establecer que la cal era producida tanto por especialistas que operaban al nivel de la comunidad, como por los hogares rurales para el uso cotidiano. Las entrevistas con los caleros Mayas han revelado variaciones regionales en los tipos de caleras, los materiales preferidos, los métodos de construcción, el funcionamiento y las prácticas rituales asociadas.

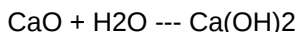
LA QUÍMICA DE LA QUEMA DE CAL

La cal se puede producir a partir de una serie de materiales carbonados. Generalmente se produce mediante la quema de piedra caliza, que es fundamentalmente carbonato de calcio (CaCO_3).

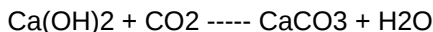
Cuando se calienta a 900 C, el carbonato de calcio comienza a disociarse para producir óxido de calcio (cal viva) y dióxido de carbono. La forma de la piedra caliza se mantiene, pero su peso se reduce en 45%.



La cal se hidrata (se apaga) con agua para formar hidróxido de calcio. En este proceso de conversión de cal viva en cal muerta, el material se calienta, se expande, y se convierte en un polvo fino.



La cal muerta en polvo (hidróxido de calcio) queda lista para almacenar, usar como cemento en el estuco y para otras aplicaciones. La cal muerta se mezcla con agua para formar una pasta que se usa en arquitectura. Otros materiales se agregan para producir volumen y para reducir los resquebrajamientos o fracturas causados por la contracción del producto final cuando se seca y se cura. Mientras la mezcla se cura, el dióxido de carbono en la atmósfera reacciona con el hidróxido de calcio para producir carbonato de calcio y agua que después se evapora.



El producto final completa un ciclo que comienza y termina con carbonato de calcio: CaCO_3 .

HORNOS TRADICIONALES

Las caleras Mesoamericanas tradicionales son estructuras construidas con combustible húmedo densamente apilado, generalmente leña fresca. Funcionan como hornos verdaderos capaces de alcanzar y mantener los 900 C necesarios para convertir el material carbonado (CaCO_3) en cal viva (CaO). Las caleras controlan el patrón de combustión en el centro, donde reflejan y concentran el calor, evitan la pérdida de calor mediante el aislamiento que produce la humedad de la capa externa de la madera, y tienen un sistema de ventilación que recibe aire frío del perímetro lateral y suelta gases calientes a través de la piedra caliza que cubre la estructura. Como combustible se utiliza madera, que suele tener un contenido de agua superior al 50%, y como mineral piedra caliza, concha (Nations 1979, Pike 1980), o coral. Estas caleras son hornos y no simplemente piras. Estructuras idénticas hechas con madera seca arden como hogueras, produciendo gran pérdida de calor y dejando como único resultado una cantidad de piedra quemada.

Hasta la fecha hemos identificado seis tipos regionales de caleras, que hemos clasificado de acuerdo al método utilizado para apilar la madera:

1. Una calera redonda, hecha con leña pequeña e irregular organizada radialmente (Figura 1), que es propia del norte de la Península de Yucatán (Morris 1931; Hernández, Bello y Tacher 1995).
2. Un tipo cuadrado hecho con dos pilas paralelas de trozas rectas apretadas (Figura 2), propia de la región de los lagos del centro del Petén.
3. Un tipo rectangular hecho con trozas apiladas de manera paralela (Figura 3), utilizado en la región Maya Mopan de Guatemala y en el sur de Quintana Roo.
4. Un tipo cuadrado hecho con capas de trozas perpendiculares alternadas (Figura 4), que todavía es utilizado por los chicleros en el norte del Petén.
5. Un tipo redondo hecho con troncos o ramas apiladas verticalmente (Figura 5), documentado para el sureste de Quintana Roo y el centro oriente de México.
6. Una variante de la redonda radial de Yucatán y de redonda vertical de Quintana Roo, que ha sido documentada a mitad de camino entre ambos sectores en Coba.

Cualquiera de estos tipos de calera puede quemarse al nivel de la superficie o en huecos excavados en la tierra o en el lecho rocoso (Figura 6). Además de las variaciones en las formas de apilar, hay otras técnicas que pueden utilizarse para facilitar la combustión o mejorar la entrada de aire y la salida de gases. Tal es el caso de chimeneas centrales verticales, callejones laterales al nivel del piso, troncos en la base que elevan toda la estructura, métodos de ubicar la madera seca en lugares

estratégicos para generar un patrón de quema controlado y estantes que sostienen las estructuras y permiten introducir leña al centro durante la quema. Estas técnicas varían de acuerdo al estilo regional o local.

QUEMAS EXPERIMENTALES

En cuatro lugares diferentes se construyeron y quemaron diez variantes regionales de la calera base Mesoamericana. Además, se utilizó un horno de tipo colonial localizado en San Benito, Petén, que está actualmente en funcionamiento. Todos los materiales consumidos y producidos se pesaron y también se determinó su contenido de humedad. Los resultados se corrigieron para un contenido de humedad de 0% con el fin de determinar la eficiencia de producción relativa de los diferentes tipos de calera. Con ello se logró una comprensión básica de los procesos, del consumo de recursos, de las limitaciones y de la eficiencia de producción del sistema Maya de elaboración de cal.

La calera cuadrada de la región de los lagos centrales de Petén (Figura 2) nos sirve de ejemplo del método Maya. El término *trinchera*, con el cual se conoce esta calera, evoca estructuras quemadas antiguamente en huecos, aunque durante este siglo se quemaba al aire libre al nivel del suelo. Esta calera, que ya no se utiliza, consiste de dos montones de trozas recién cortadas, pegadas cabeza a cabeza y sujetadas por una estructura de postes amarrada con bejucos. Al nivel del piso, un callejón lateral de ventilación permitía acceder a una pila central de madera para encender el fuego. El tamaño de este tipo de caleras era variable. Los lados tenían entre 1 y 4 m, y las pilas de madera alcanzaban entre 1.2 y 2 m de altura. Por encima las cubría una capa de caliza de 40 a 50 cm de ancho, llamada *tzal*, que era puesta a 20 ó 30 cm de los bordes. Las caleras todavía visibles que fueron cortadas de una cantera y quemadas en Tikal para hacer cal para restauración son versiones bajo tierra de este tipo (Urrutia y Monterroso 1992).

Tzal es una piedra caliza suave y porosa que generalmente se encuentra como una capa superior cerca de la superficie a través de la región de las Tierras Bajas. Era el único tipo de piedra utilizada en calizas tradicionales en el norte de Petén. Los indígenas Itza' de Petén que recuerdan el método antiguo de elaboración de cal utilizan la palabra *tzal* y piedra *tzal*. La gente joven y los inmigrantes recientes de aquella región antiguamente aislada la llaman piedra de sal (Ruiz 1985). La piedra que sirve de fachada en la arquitectura monumental de Tikal es una *tzal* de buena calidad que es fácilmente extraída y trabajada con herramientas de piedra.

En la península de Yucatán, una cal viva similar es llamada *sascab tunich*, *sascaboso*, o *hel bach* (Hernández, Bello y Tacher 1995:264). Allí también se le quemaba en caleras tradicionales, pero generalmente se prefería una piedra caliza un poco más dura que también se encuentra en la superficie. Esta piedra medio cristalina se llama *sac ebach* o *ebach*, *sac tunich* y piedra blanca, dependiendo del lugar. A través de las Tierras Bajas Mayas, los tipos de piedra caliza más duros no eran considerados aptos para la quema. *Toc tunich*, *taman tunich*, piedra de cerro y piedra de fuego son nombres para este tipo de piedra caliza no porosa y cristalina, que requiere de temperaturas más altas y sostenidas para calcinarse.

Bajo la dirección de un calero maya de 77 años, una calera de tal tipo del centro de Petén de 2.5 m² fue construida en la península de Tayasal y quemada el 9 de Julio de 1996. Fue prendida temprano en la mañana con hojas secas de palma de *guano* encendidas que fueron empujadas por un callejón hacia en centro inferior de la masa de madera. Esto se hizo en la mañana para asegurar que ningún viento afectara la quema en las primeras seis horas que son críticas, y para que la calera estuviera en su punto de mayor calor en la tarde y noche cuando es más factible que haya lluvia. La humareda húmeda inicial se convirtió en un penacho de gases incoloros y calientes que emergían a través de la caliza mientras el fuego interior ganaba intensidad.

El fuego, que ardía bajo la forma de un cono invertido dentro de la estructura cúbica, se acercaba al borde de la pila, pero sin atravesar los lados paralelos. Trozas del perímetro que estaban ardiendo en un lado interior estaban en contacto con piedra caliza que ardía al punto de tener un color naranja encendido, mientras la parte exterior de la misma troza, a tan sólo 5 cm de distancia, se mantenía frío

gracias a la excelente calidad aislante de la madera húmeda. Mientras la cal viva caliente caía lentamente al centro encendido, la troza externa rodaría periódicamente hacia adentro para ser consumida por el fuego en su parte interna, mientras la exterior servía para contener el calor que de otra forma sería irradiado fuera de esa parte de la calera. Una intensa lluvia cayó sobre la calera durante una hora sin ningún efecto visible de humedad.

Las consecuencias de la lluvia pueden variar desde una reducción mínima en la producción de cal hasta una pérdida total de la calera. Esta hora de lluvia causó una reducción del 30% en la producción de cal en relación con otra calera del mismo tipo quemada en la siguiente estación con clima seco.

Al día siguiente, la calera estaba completamente quemada, lo único que quedaba era un poco de madera en cada una de sus esquinas. Un día de quema es típico de la mayoría de caleras tradicionales, que varían de 1.5 a 4 m de diámetro. Un diámetro mínimo de 1 m ha sido observado, pero no hay un límite específico de tamaño máximo. Hay ejemplos que sobrepasan los 20 m en los tipos redondos. Estos toman tres días en quemarse.

La pila de cal estaba en el suelo dentro de un marco de varas sin quemar donde previamente descansaba la leña. Un techo provisional fue construido sobre el mismo marco para proteger la cal de la lluvia mientras se enfriaba durante otro día. El viejo calero examinó cuidadosamente la pila de piedra caliente, sacando pedazos de carbón y de sílex, y separando pedazos de piedra caliza a medio quemar de la parte superior central de la pila. Las piedras que están en la parte central superior de la pila raramente se calcinan porque el calor proviene solamente de abajo. Esto es cierto tanto para las caleras tradicionales como para los hornos coloniales. Estas piedras no se desperdician, ya que sirven como capa aislante para contener el calor en la zona interior que contiene piedras más pequeñas. Estas piedras parcialmente cocinadas, que son blancas por fuera y grises por dentro, pueden ser quemadas nuevamente para producir cal de manera más fácil que con cal fresca, pero muchas veces se desechan.

El calero empacó la cal viva en sacos para transportarla a su pueblo para allí procesarla, como era costumbre en esta parte de Petén. Allí se apilaron y se les roció agua cuidadosamente para apagar la cal. La pila de piedra se puso muy caliente y cambió de forma para convertirse en un polvo blanco brillante. Se dejó "cocer" durante la noche. Luego se cernió para remover los pedazos de piedra sin quemar y se vendió para su uso inmediato en la comunidad. Los pedazos de piedra a medio quemar (piedra negra) se guardaron para calcinarse después en una calera pequeña del mismo tipo.

Algunos caleros del norte de las Tierras Bajas que ocasionalmente queman una calera todavía mantienen la costumbre Maya de quemar en la época de lluvias y dejar la cal al aire libre para que se apague de manera natural por dos o tres años antes de ser utilizada en arquitectura. Este método de apagar, que es considerado necesario si se desea una cal durable que no se resquebraje, se ha perdido completamente en Petén.

CALERAS TIPO "HORNO" COLONIAL

La tecnología Mesoamericana de elaboración de cal murió cerca de la mayoría de los centros coloniales españoles, pero sobrevivió hasta avanzado el siglo XX en algunos lugares remotos. Con la llegada de las carreteras y el transporte sobre ruedas, se impuso la calera tipo horno que es mucho más eficiente. Aquí se le denominará "horno" para distinguirlo de las variedades del Nuevo Mundo. El primer horno que tuvo Petén fue construido en San José en 1948. Este tipo de calera colonial consiste de una estructura fija, muy similar al prototipo romano, adonde debe llevarse la leña y el material mineral (Adam 1994; Eicholz 1983; Fourcroy de Ramencourt 1766). A pesar de ser menos eficientes, las caleras Mayas tienen la ventaja de poder montarse en donde está la leña, de tal forma que sólo hay que transportar la cal.

La última calera del estudio fue una versión de este horno foráneo que está localizada en San Benito, Petén. Esta cámara de piedra tiene una entrada lateral por donde se alimentó con piedra caliza

en forma de pequeño cuarto abovedado para crear un espacio abierto debajo para la alimentación continua del fuego con madera seca. La quema continuó hasta que los trabajadores supieron que la piedra estaba totalmente calcinada por cambios en el color de la llama y el desplome del montón. Las calizas Mesoamericanas tradicionales no pueden ser reguladas por medio de una alimentación continua. El calero tradicional debe decidir entre sobrecargar la caliza con madera costosa o arriesgarse a que sólo una parte de la piedra caliza se calcine.

Los siguientes datos permiten establecer una comparación entre el horno colonial y las caleras tradicionales:

1. Las caleras Mesoamericanas queman variedades de caliza suaves en pedazos de 10 cm de diámetro o menos. Los hornos tradicionales pueden quemar cualquier tipo de caliza, en especial las variedades duras, en trozos que varían entre 10 y 50 cm de diámetro.
2. Las caleras Mesoamericanas utilizan madera verde con un contenido de agua del 50% en promedio. Los hornos queman fundamentalmente madera seca, con 15% de contenido de agua, aunque durante un periodo corto los primeros hornos de Petén fueron alimentados con piedra blanda y madera húmeda.
3. Las caleras Mesoamericanas son afectadas negativamente por el viento si no son quemadas en un hoyo o protegidas por el lado en que sopla el viento. También las afecta la lluvia, y para eso no hay remedio. A los hornos no los afecta ni el viento ni la lluvia.
4. Tras corregir el contenido de agua al 0%, la relación medida en peso entre el combustible consumido y la cal viva (CaO) producida (leña: cal viva) varió en peso entre 4.2:1 y 8:1 para las diez caleras tradicionales quemadas para este estudio. La relación para el horno colonial fue de 1.1:1, superior a la mejor calera maya por un factor de cuatro. Este resultado es típico para las caleras tipo horno construidas en los últimos treinta años con dimensiones interiores de igual alto que ancho, es un poco mejor que el diseño europeo original cuya altura era el doble del ancho para poder apilar más piedra. Estas tenían la relación de eficiencia (madera seca: cal viva) cerca de 1.5:1. Las caleras industriales modernas, que no fueron consideradas en este estudio, producen actualmente la mayoría de la cal consumida en México y Centroamérica con un gran nivel de eficiencia.

Aquí se presentan los datos de consumo y producción de dos caleras como ejemplos típicos para la comparación entre caleras Mayas y hornos coloniales.

CALERA TRADICIONAL TIPO MAYA MOPAN (Figura 3)

Medidas	2.0 m x 1.5 m x 1.5 m
Leña húmeda (50% H ₂ O)	 2,120 kg
Leña seca (17% H ₂ O)	 72 kg
Leña (convertido a 0% H ₂ O)	 1,121 kg
Caliza (tzal) 15% H ₂ O)	 760 kg
Caliza (convertido a 0% H ₂ O)	 646 kg
Peso combinado de caliza y leña húmeda.....	2,952 kg
Piedra mal quemada	 280 kg
Cal viva (CaO)	 239 kg
Relación de eficiencia (0% H ₂ O leña: CaO).....	4.7:1
Trabajo	 49.5 horas

CALERA TIPO HORNO COLONIAL (Figuras 7a y 7b)

Medidas	 2.5 m diámetro x 2.5 m
Leña (17% H ₂ O)	 5,775 kg
Leña (convertido a 0% H ₂ O)	 4,793 kg
Caliza (4% H ₂ O)	 8,325 kg
Caliza (convertido a 0% H ₂ O)	 7,992 kg
Peso combinado de caliza y leña húmeda.	14,995 kg
Piedra mal quemada	 1,384 kg
CaO producto	 4,325 kg
Relación de eficiencia (0% H ₂ O leña: CaO)	 1.1:1

RITUAL

Mientras la producción de cal de los hornos coloniales puede ser predicha, hay una gran variedad en la eficiencia de las caleras tradicionales. Los factores que afectan la eficiencia de las caleras incluyen la habilidad del constructor, el viento, la lluvia, el colapso estructural, el derrame de piedra, el contenido de humedad de la madera, el tamaño de las trozas, la falta de combustible, piedra caliza húmeda, piedra de mala calidad con impurezas, piedras muy grandes, y exceso de piedra. El objetivo del calero era equilibrar estos factores para alcanzar el mejor resultado utilizando la menor cantidad de leña.

Los caleros de la península de Yucatán, y algunos pocos de Petén, compensan esta incertidumbre con rituales. Un punto sagrado para construir caleras puede ser demarcado y protegido. Se puede observar una orientación hacia direcciones sagradas, especialmente hacia el oriente. Ofrendas ("secretos") de maíz, chiles, sal, espinas de Subin, cerámica partida, etc, pueden ser quemados sobre o dentro de la calera (frecuentemente se les encuentra dispuestos en grupos de nueve). Los caleros del norte prohíben la presencia de mujeres (Morris 1931), y de pelo largo y a veces de pies y zapatos o caucho (al que asocian con zapatos). Tanto en las antiguas prácticas aztecas (Ruiz de Alarcón 1984, 1629), como en las que han sobrevivido de los Mayas, la cal producida era considerada una entidad femenina pura (llamada señorita blanca, *sac chupal* en Yukateco e *yztac cihuatl* en Nahuatl, creada o liberada en el proceso de transformación de piedra caliza en cal viva.

LEÑA

Para leña, los caleros tradicionales escogen aquellas especies de árboles con madera suave y alto contenido de agua. Las más utilizadas eran aquellas llamadas "maderas de agua", que tienen entre un 50% y un 60% de agua. Estas se queman de forma limpia y proveen el aislamiento necesario para mantener la zona de quema en el centro de la calera. Las maderas favoritas de los caleros en las Tierras Bajas Centrales eran *chacah* (*Bursera simaruba*), *jobo* (*Spondias mombin*), *yaxnik* (*Vitex gaumeri*), *ocobat*, mano de león (*Dendropanax arboreus*), *jocote* (*Crescencia cujete*), *salan*, *tamail* y *botan* (*Sabal morrisiana*). Cierta proporción de la mayoría de las otras especies maderables podía ser tolerada, con excepción de aquellas que producen demasiado carbón como chico zapote (*Manilkara zapota*), ramón (*Brosimum alicastrum*), pimienta (*Pimenta dioica*), *subin* (*Acacia doilichostachya*) y zapotillo (*Achras zapota*). Los árboles de segundo crecimiento eran preferidos por la facilidad de cortarlos con hacha. Además, la leña de menor diámetro tiene una relación entre superficie y volumen que permite una mejor oxigenación.

El contenido de agua es mayor en los árboles pequeños y más jóvenes, y en las ramas, en comparación con los troncos gruesos. Muchas de las "maderas de agua" son especies de rápido crecimiento, que regeneran de ramas cortadas. Algunos caleros reforestaban así para garantizar la oferta de madera cerca de la piedra caliza de mejor calidad. Para aquellas caleras construidas horizontalmente sobre la superficie se consideraba necesaria una mezcla de trozas con medidas entre 5 y 25 cm de diámetro (Hernández, Bello y Tacher 1995:260-61), para garantizar tanto un ritmo de combustión estable como para reducir los espacios de aire en la masa de madera a 10% o máximo 15%.

La gran caliza radial de Yucatán funciona mejor cuando se construye cuidadosamente con pedazos de madera cortos y de poco diámetro. Por lo tanto, el diseño es más adecuado para la oferta ambiental en las secas Tierras Bajas del Norte. Los diseños rectangulares horizontales y redondos verticales funcionan mejor con trozas rectas de tamaños medianos. Estos diseños están mejor adaptados a las maderas que se encuentran en las Tierras Bajas Mayas del Centro y del Sur.

EVIDENCIA ARQUEOLÓGICA

El conocimiento adquirido mediante este estudio sobre los residuos que dejan estas prácticas ha hecho posible buscar evidencia arqueológica de elaboración de cal prehispánica. Los restos dejados por las caleras generalmente incluyen piedra mal quemada y trozos de sílex quemado, tierra oscurecida y carbón. También es posible hallar tierra fundida y greda enrojecida. En los casos de las quemas en hoyos, puede encontrarse el hueco mismo con huellas dejadas por el fuego.

En la literatura arqueológica hay reportes de algunas caleras. Hay controversia sobre una estructura del periodo Clásico excavada en Copan e identificada como una calera (Abrams 1996; Freter 1996). No se parece a ninguno de los tipos identificados en este estudio. En el curso de este estudio se encontraron algunas caleras en varios lugares de Mesoamérica. Dibujos de excavaciones de varios proyectos sugieren la existencia de otras caleras que no han sido identificadas como tales. En Cauinal del Postclásico (Fauvet-Berthelot 1980), en Tula del Postclásico, y posiblemente en el pantano Pulltrouser del Preclásico (Ettlinger 1983:170-73), hay ejemplos de caleras consistentes en un hoyo dentro de otro hoyo circular más grande. En Sayil, y tal vez en Dos Pilas, hay caleras en hoyos cilíndricos. Una calera fue reportada en Cozumel (Freidel y Sabloff 1984). En Copan y sus alrededores se han encontrado varias caleras en hoyos poco profundos, de los periodos Clásico y Preclásico Tardío (Whittington 1991; Viel 1983 citado en Abrams 1987). Con excepción del anillo externo secundario de 7 m de ancho de las caleras de Cauinal, el tamaño de todos hallazgos arqueológicos de caleras en hoyos varía entre 1 y 3 m. Hay muy poca evidencia de quemas superficiales en el sur, pero bastante en el norte en Yucatán (Morris 1931:225).

IMPLICACIONES AMBIENTALES

Avances en los estudios Mayas en las pasadas dos décadas ofrecen mucha información nueva que enriquece y pule nuestra imagen de los paisajes culturales Mayas antiguos. La posibilidad de deforestación extensiva de algunas áreas con mucha población ha sido sugerida repetidas veces. Richard Hansen, director del Proyecto PRIANPEG, por ejemplo, considera que la producción de cal a gran escala para arquitectura puede haber contribuido a causar deforestación considerable y estrés social en las Tierras Bajas Centrales (Hansen 1995a). La degradación ambiental, incluyendo la deforestación, ha sido considerada como un factor que contribuyó al colapso final de los Mayas Clásicos en Copan.

Para comprobar la hipótesis de la deforestación se puede utilizar información de diferentes fuentes, tales como el análisis de la composición y del polen de los sedimentos lacustres, la cuantificación de las tasas de erosión y sedimentación, las medidas arqueológicas del uso actual de cal para la arquitectura, y la observación de las condiciones y los procesos actuales naturales y sociales. Esta información puede ser aplicada a la construcción de un modelo cuantitativo para la región en cuestión. Las tasas de producción y consumo de recursos maderables y niveles de cosecha sostenible pueden ser estimados.

La contribución de la tala de madera para la producción de cal fue considerada en un modelo de este tipo propuesto por Abrams y Rue (1988:389-90) para estimar la deforestación en el área de Copan. A partir de datos publicados por Morris (1931) y Erasmus (1965:290) concluyeron que la tala de madera para producción de cal tendría un efecto "insignificante" sobre los recursos forestales cerca de Copan durante el periodo Clásico. Esto puede ser cierto para el área de Copan, donde el uso de cal era sólo una fracción de aquel usado en los lugares típicos de las Tierras Bajas Centrales.

Desafortunadamente, el cálculo es cuestionable porque los datos de Morris eran estimados pobres. Y Erasmus, quien no presencié ni midió el proceso de quema de cal, suministró datos errados. Erasmus afirmó que 8.25 toneladas de cal se producían con 12.5 toneladas de piedra y 6.75 toneladas de leña verde. Pero con la medición de las diez caleras hemos establecido que, en el mejor de los casos, una calera Maya al aire libre requiere 69.3 toneladas de leña verde para producir 8.25 toneladas de cal. Tenía una eficiencia de 4.2:1 (leña seca: cal viva). El 50% de mejor resultado de una calera radial reportado por Hernández, Bello y Tacher (1995) es inconsistente con nuestros hallazgos. Esto puede ser resultado de diferencias metodológicas y error aritmético. Dependiendo de los datos errados de Erasmus lleva a subestimar la contribución a la deforestación causada por la elaboración de cal.

Otra forma de entender cómo el proceso de elaboración de la cal afecta el bosque consiste en evaluar la piedra quemada y otros residuos que generalmente se encuentran en los rellenos de las construcciones Mayas. Esto puede interpretarse como evidencia de que las caleras fueron quemadas muy cerca de la construcción y que, por lo tanto, había árboles cerca también. Esta lectura del paisaje antiguo se refuerza por el hecho de que en los periodos de construcción intensa se encuentran muy pocos residuos de caleras en los rellenos. Esto puede significar que la ausencia de bosque en la vecindad implicó la importación de cal producida en otras áreas.

Como parte del estudio del PRIANPEG, se realizó un inventario forestal en dos parcelas típicas de bosque secundario denso localizadas en la península de Tayasal cerca de Flores, Petén (Romero 1996). Para una calera cuadrada del estilo del centro de Petén de 2.5 m (Figura 2), se cortaron 38 árboles de 17 especies de una parcela de 1/4 de hectárea de bosque secundario de 20 años que tenía 213 árboles de 39 especies. Se eliminó el 16% del área con cobertura maderable, usando el 21% del volumen de madera registrado. Casi la mitad de la madera quemada corresponde a dos especies: *chacah* colorado (*Bursera simaruba*) y laurel (*Cordia alliodora*). Un metro cúbico de leña utilizado en esa calera tipo trinchera equivale a 0.84 m³ de leña sólida y 16% de espacio aéreo. A una eficiencia del 5:1 se pueden producir 453 kg de cal (CaO) con un consumo de 6.3 m³ de leña sólida (85 tercios) con un peso de 4,525 kg húmeda o de 2,263 kg a 0% HO.

En estas parcelas se midieron los árboles seleccionados por los caleros para construir las seis caleras y se estimó la producción sostenible de cal. Basados en esta información calculamos (para estas parcelas) que un máximo de 425 kg de cal viva por hectárea podría producirse anualmente, asumiendo un ciclo de recuperación de 20 años, si se utilizan para este propósito todos los árboles con un diámetro mayor a 5 cm. Este estimativo se basa en un consumo de 1.44 m³ de madera sólida por cada 100 kg de cal viva producida con la relación de eficiencia típica de 5:1 (madera con 0% H₂O: CaO), y una producción de madera de 6.15 m³ por hectárea al año.

TRABAJO

Nuestro estudio ha demostrado que cuando se utilizan hachas de acero, piochas y machetes, el tiempo requerido para producir 100 kg de cal es de 16 horas de trabajo fuerte, en promedio, teniendo la madera a una distancia inferior de 50 m de la calera. Para los Mayas antiguos que utilizaban herramientas de piedra, cuya eficiencia es 1/3 de las de acero (la eficiencia de las herramientas de piedra puede ser igual a la de las de acero para ciertos trabajos como el labrado de las caras de los bloques de piedra), el tiempo necesario para lograr la misma producción, sería de aproximadamente 45 horas (Saraydar y Simanda 1971, 1973; Woods y Titmus s.f.; Erasmus 1965:293). En un experimento hecho por Erasmus (1965:290), 100 kg de cal era suficiente para que un trabajador Maya enluciera 1,400 kilos de piedra y 300 kilos de *sascab* para formar 1 m³ de muro de piedra.

El tiempo necesario para producir cal aumenta significativamente si los materiales tienen que ser transportados, aunque sea por distancias cortas. Esto puede entenderse fácilmente si se piensa que para una calera promedio, que produce con una eficiencia de 5:1, habría que transportar 10 cargas de madera húmeda y dos de caliza para cada carga de cal viva que se produzca.

CONCLUSIÓN

Aunque en 1931 Morris hizo una buena descripción de la tecnología básica Mesoamericana de la producción de cal, la diversidad, el refinamiento y la distribución regional de los subtipos de caleras encontrados en este estudio son una novedad. La información sobre la menor productividad de estas caleras con respecto a los hornos coloniales europeos que las reemplazaron es igualmente novedosa. Si esta menor productividad es representativa de la tecnología prehispánica de elaboración de cal en Mesoamérica, es necesario pensar nuevamente en la reconstrucción ambiental, la organización social y el flujo energético de las construcciones a la luz de esta nueva información.

La estrecha relación entre la evidencia arqueológica y la observación etnográfica sugiere que el sistema de elaboración de cal con piras de leña húmeda maduró, por lo menos, en el Preclásico Tardío, y que tuvo cierto refinamiento posterior, pero poca innovación significativa previa la llegada de los españoles.

Este estudio ha mostrado que la cal, un elemento clave tanto para la economía como para la expresión espiritual de los Mayas antiguos de las Tierras Bajas, era un material de producción costosa en términos de trabajo invertido, así como de consumo de madera. Su uso excesivo en monumentos debió haber dejado un mensaje fuerte sobre el poder de la clase elitista.

REFERENCIAS

Abrams, Elliot M.

- 1996 The Evolution of Plaster Production and the Growth of the Copan Maya State. En *Arqueología Mesoamericana, Homenaje a William P. Sanders*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Abrams, Elliot M. y AnnCorine Freter

- 1996 A Late Classic Lime-Plaster Kiln from the Maya of Copan, Honduras. *Antiquity* 70:422-8.

Abrams, Elliot M. y David Rue

- 1988 The Causes and Consequences of Deforestation Among the Prehistoric Maya. *Human Ecology* 16 (4):377-395.

Adam, Jean-Pierre

- 1994 *Roman Building: Materials and Techniques*. Indiana University Press, Bloomington e Indianapolis.

Eichholz, James C.

- 1983 A Spanish Colonial Lime Kiln. *Proceedings of the Ninth International Congress for the Study of the Pre-Columbian Cultures in the Lesser Antilles*. Santo Domingo, August 2-8, 1981. Centre de Recherches Caraïbes. Université de Montréal.

Erasmus, Charles

- 1965 Monument Building: Some Field Experiments. *Southwestern Journal of Anthropology* 21 (4):277-301.

Ettlinger, Nancy

- 1983 The Excavations at Southern Kokeal. En *Pulltrouser Swamp* (editado por B.L.Turner y P. Harrison). University of Texas Press, Austin.

Fauvet-Berthelot, Marie-France

- 1980 Taille de l'obsidienne et fabrication de la chaux: deux exemples d'activité spécialisée a Cauinal. Cahiers de la R.C.P. 500 2. *Rabinal et la Vallée Moyenne du Río Chixoy. Baja Verapaz - Guatemala*. Centre National de la Recherche Scientifique, Institut d'Ethnologie, Paris.

Fourcroy de Ramecourt, M.

- 1766 *Art du Chauffournier*. France.

Freidel, David A. y Jeremy A. Sabloff

- 1984 *Cozumel, Late Maya Settlement Patterns*. Academic Press, Orlando.

Hansen, Richard D.

- 1995a The Rise and Fall of Maya Civilization: New Perspectives from Northern Peten. Ponencia presentado en el simposio The Maya in the Preclassic, 13th Maya Weekend, University Museum, University of Pennsylvania.

- 1995b Early Environmental Impact: The Ecological Consequences of Incipient Maya Settlement. Informe entregado al National Geographic Society, NGS #4984-93.

- 1998 Continuity and Disjunction: Preclassic Antecedents of Classic Maya Architecture. En *Function and Meaning in Classic Maya Architecture* (editado por S. Houston):49-122. Dumbarton Oaks, Washington, D.C.

Hernández Xolocotzi, Efraín, Eduardo Bello Baltazar y Samuel Levy Tacher

- 1995 La milpa en Yucatán: un sistema de producción agrícola tradicional. En *Aprovechamiento Forestal Tradicional de los Hubches en Yucatán* (editado por Samuel Levy Tacher y Efraín Hernández Xolocotzi). Colegio de Postgraduados, México.

Morris, E.H.

- 1931 *Temple of the Warriors at Chichen Itza*. Carnegie Institution, Washington, D.C.

Nations, James D.

- 1979 Snail Shells and Maize Preparation: A Lacandon Maya Analogy. *American Antiquity* 44 (3):568-571.

Pike, Kenneth L.

- 1980 *A Mixtec Lime Oven*. Summer Institute of Linguistics, Publication 10. Museum of Anthropology, Dallas.

Romero, Juan José

- 1996 Utilización de leña para elaboración de cal en la península de Tayasal. Elaboración de cal de manera tradicional por los Mayas de la zona de Petén, Guatemala. Informe al Proyecto Regional de Investigaciones Arqueológicas del Norte de Petén, Guatemala (PRIANPEG/RAINPEG). Documento en los archivos de FARES.

Ruiz, María Elena

- 1985 Observaciones sobre canteras en Petén, Guatemala. *Mesoamérica* 10. CIRMA, Guatemala.

Ruiz de Alarcón, Hernando

- 1986 *About the Incantation and Spell of Those Who Rig Lime Kilns*. Treatise on the Heathen Superstitions That Today Live Among the Indians Native to This New Spain, 1629 (traducido y editado por J. Richard Andrews y Ross Hassig): Capítulo 5. University of Oklahoma Press, Norman.

Saraydar, Steven e Izumi Shimada

- 1971 A Quantitative Comparison of Efficiency Between a Stone Axe and a Steel Axe. *American Antiquity* 36 (2):216-217.
- 1972 Experimental Archaeology: A New Outlook. *American Antiquity* 38 (3):344-350.

Titmus, Gene L., y James C. Woods

- s.f. The Ancient Limestone Quarries of Nakbe, Guatemala. Manuscrito en preparación, PRIANPEG/RAINPEG. Foundation for Anthropological Research & Environmental Studies (FARES).

Urrutia, Alejandro y Enrique Monterroso

- 1992 La fabricación de cal, un proyecto de la restauración arqueológica. Ponencia, I Simposio de Investigación Arqueológica en Guatemala. Revista Estudios, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Whittington, Stephen L.

- 1991 The Ostuman Archaeological Project. Final Report to the National Science Foundation.

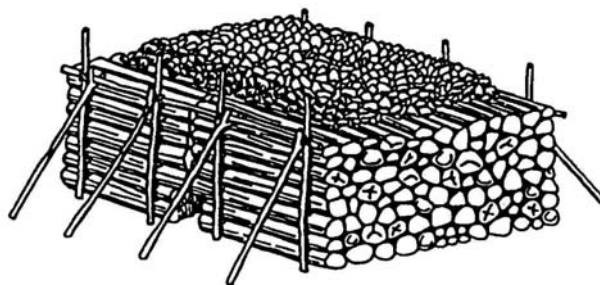


Figura 2

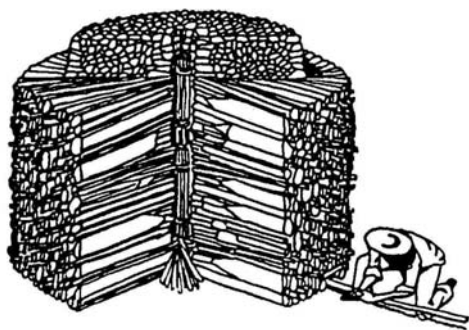


Figura 3

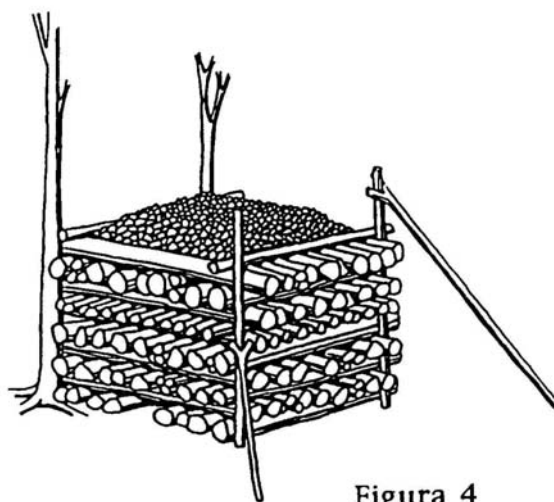
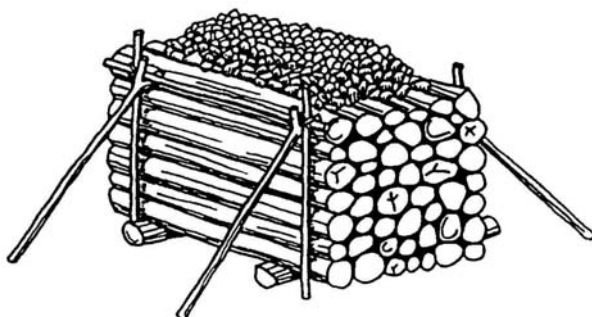


Figura 4



Figuras 1 a 4 Pasos iniciales para la fabricación de la cal



Figura 5

Figura 7-A

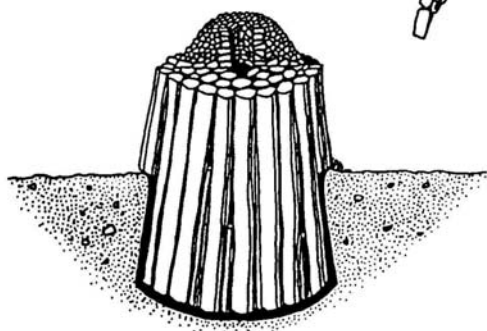
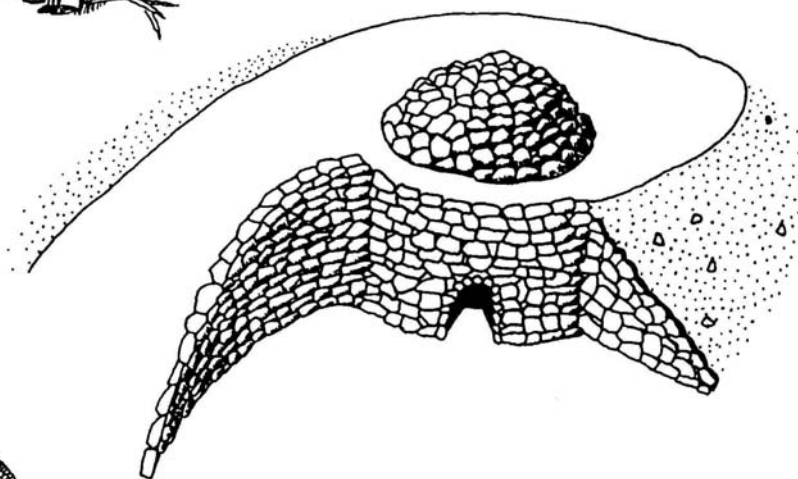
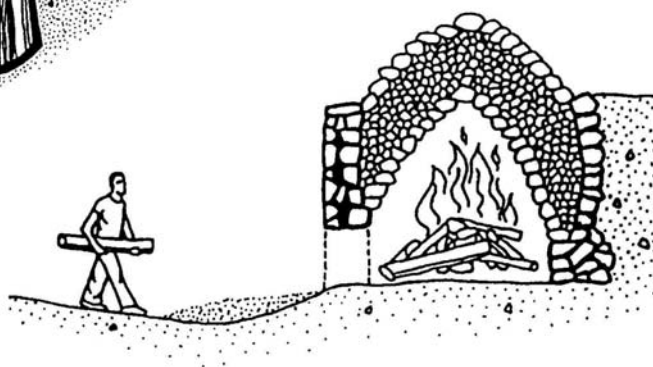


Figura 6

Figura 7-B



Figuras 5 a 7 Pasos finales para la fabricación de la cal